



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA PODNIKATELSKÁ**

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT

**ÚSTAV INFORMATIKY**

INSTITUTE OF INFORMATICS

**APLIKACE FUZZY LOGIKY PRO HODNOCENÍ KVALITY  
ZÁKAZNÍKŮ**

THE APPLICATION OF FUZZY LOGIC FOR EVALUATION OF QUALITY OF CUSTOMERS

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Katarína Behancová**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**prof. Ing. Petr Dostál, CSc.**

**BRNO 2021**

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav informatiky  
Studentka: **Bc. Katarína Behancová**  
Studijní program: Systémové inženýrství a informatika  
Studijní obor: Informační management  
Vedoucí práce: **prof. Ing. Petr Dostál, CSc.**  
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně zadává diplomovou práci s názvem:

## Aplikace fuzzy logiky pro hodnocení kvality zákazníků

### Charakteristika problematiky úkolu:

Úvod  
Vymezení problému a cíle práce  
Teoretická východiska práce  
Analýza problému a současné situace  
Vlastní návrhy řešení, přínos návrhů řešení  
Závěr  
Seznam použité literatury  
Přílohy

### Cíle, kterých má být dosaženo:

Vymezení řešeného problému a stanovení celkového a dílčích cílů. Provedení teoretického popisu základů použité teorie prostředků umělé inteligence, popis a analýza problému, vyhodnocení současné situace, provedení návrhu řešení a zhodnocení přínosu návrhu řešení.

### Základní literární prameny:

DOSTÁL, P. Advanced Decision Making in Business and Public Services. Brno: CERM, 2011. 168 s. ISBN 978-80-7204-747-5.

DOSTÁL, P. Pokročilé metody rozhodování v podnikatelství a veřejné správě. Brno: CERM, 2012. 718 s. ISBN 978-80-7204-798-7.

HANSELMAN, D. a B. LITTLEFIELD. Mastering MATLAB. Pearson Education International Ltd., 2012. 852 s. ISBN 978-0-13-185714-2.

MAŘÍK, V., O. ŠTĚPÁNKOVÁ a J. LAŽANSKÝ. Umělá inteligence. Praha: ACADEMIA, 2013. 2473 s.  
ISBN 978-80-200-2276-9.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně dne 28.2.2021

L. S.

---

Mgr. Veronika Novotná, Ph.D.  
ředitel

---

doc. Ing. Vojtěch Bartoš, Ph.D.  
děkan

## **Abstrakt**

Diplomová práca sa zaoberá hodnotením kvality zákazníkov pomocou fuzzy logiky na základe hodnotenia ich objednávok. Práca sa skladá z troch častí. Prvá časť je teoretické východisko práce, ktoré vysvetľuje problematiku fuzzy logiky. Druhá je analytická časť, v ktorej bola predstavená spoločnosť ZKN METAL s.r.o., pre ktorú je následne v tretej poslednej časti práce navrhnuté konkrétne riešenie spracované formou dvoch modelov. Prvý z modelov je spracovaný v programe MS Excel a druhý je namodelovaný pomocou programovacieho prostredia MATLAB. Oba modely sú zasadené do užívateľsky intuitívneho prostredia a v závere práce sú modely vzájomne porovnané.

## **Abstract**

The diploma thesis deals with the evaluation of the quality of customers using fuzzy logic based on the evaluation of their orders. The thesis consists of three parts. The first part is the theoretical basis of the thesis, which explains the issue of fuzzy logic. The second is the analytical part, in which the company ZKN METAL s.r.o. was introduced, for which a specific solution is subsequently proposed in the third and last part of the thesis. This solution is processed in the form of two models. The first of the models is processed in the MS Excel program and the second is modeled using the MATLAB programming environment. Both models are set in a user-intuitive environment and they are compared with each other afterwards.

## **Kľúčové slová**

fuzzy logika, hodnotenie objednávky, MATLAB, MS Excel, model, systém na podporu rozhodovania sa

## **Key words**

fuzzy logic, order evaluation, MATLAB, MS Excel, model, decision support system

### **Bibliografická citácia**

BEHANCOVÁ, Katarína. *Aplikace fuzzy logiky pro hodnocení kvality zákazníků* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/131808>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, Ústav informatiky. Vedoucí práce Petr Dostál.

### **Čestné prehlásenie**

Prehlasujem, že priložená diplomová práca je pôvodná a spracovala som ju samostatne.  
Prehlasujem, že citácia použitých zdrojov je úplná, a že som vo svojej práci neporušila autorské práva (v zmysle Zákona č. 121/2000 Zb., o práve autorskom a o právach súvisiacich s právom autorským).

V Brne dňa 11.5.2021

.....

Bc. Katarína Behancová

## **Pod'akovanie**

Touto cestou by som sa chcela poďakovať svojmu vedúcemu diplomovej práce, pánovi profesorovi Ing. Petrovi Dostálovi, CSc. za jeho odborný prístup a cenné rady, ktoré mi pomohli pri spracovaní diplomovej práce. Tak isto by som sa chcela poďakovať spoločnosti ZKN METAL s.r.o. za poskytnuté informácie a menovite pani Kataríne Hladkej pracujúcej na pozícii asistentky. V neposlednej rade by som chcela poďakovať svojej rodine a blízkym, ktorí ma pri tvorbe tejto práce ako aj pri celom štúdiu podporovali.

# OBSAH

|  |    |
|--|----|
| ÚVOD.....  | 10 |
| CIEĽ PRÁCE A METODIKA .....                              | 11 |
| 1 TEORETICKÉ VÝCHODISKÁ PRÁCE .....                      | 12 |
| 1.1 Fuzzy logika .....                                   | 12 |
| 1.2 Fuzzy množina .....                                  | 13 |
| 1.2.1 Funkcia príslušnosti .....                         | 13 |
| 1.2.2 Vlastnosti fuzzy množiny .....                     | 15 |
| 1.2.3 Operácie s fuzzy množinou .....                    | 17 |
| 1.3 Fázy fuzzy procesu.....                              | 19 |
| 1.3.1 Fuzzifikácia.....                                  | 19 |
| 1.3.2 Fuzzy inferencia.....                              | 20 |
| 1.3.3 Defuzzifikácia.....                                | 20 |
| 1.4 Využitie fuzzy logiky .....                          | 21 |
| 1.5 Tvorba fuzzy modelu .....                            | 21 |
| 1.5.1 Fuzzy model v programe MS Excel .....              | 21 |
| 1.5.2 Fuzzy model v GUI .....                            | 25 |
| 1.5.3 Fuzzy model v programovacom prostredí MATLAB ..... | 26 |
| 1.5.4 Fuzzy model v GUI (MATLAB).....                    | 32 |
| 2 ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU .....                          | 33 |
| 2.1 Predstavenie spoločnosti .....                       | 33 |
| 2.2 Organizačná štruktúra spoločnosti .....              | 34 |
| 2.3 Odberatelia .....                                    | 35 |
| 2.4 Výroba.....  | 36 |
| 2.5 Opis výrobného procesu.....                          | 38 |
| 2.5.1 Detailný výrobný postup súčiastky .....            | 39 |
| 2.6 Hodnotenie objednávky .....                          | 40 |
| 2.6.1 Kritériá pre hodnotenie objednávky .....           | 41 |
| 3 VLASTNÝ NÁVRH RIEŠENIA .....                           | 44 |
| 3.1 Vstupné parametre hodnotenia objednávky .....        | 44 |
| 3.1.1 Odberateľ .....                                    | 45 |
| 3.1.2 Dátum plnenia .....                                | 45 |



|   |    |
|---|----|
| 3.1.3 Počet kusov .....                               | 46 |
| 3.1.4 Spôsob dovozu.....                              | 47 |
| 3.1.5 Výrobná cena/dielec .....                       | 47 |
| 3.1.6 Materiál.....                                   | 48 |
| 3.1.7 Povrchová úprava .....                          | 48 |
| 3.1.8 Počet upnutí .....                              | 48 |
| 3.1.9 Výrobný čas/dielec .....                        | 49 |
| 3.2 Výstupné parametre hodnotenia objednávky .....    | 49 |
| 3.3 Fuzzy model v programe MS Excel.....              | 51 |
| 3.3.1 List MODEL.....                                 | 51 |
| 3.3.2 List GUI.....                                   | 54 |
| 3.4 Fuzzy model v programovacom prostredí MATLAB..... | 56 |
| 3.4.1 Podsystem odberateľ – kusy – cena.....          | 56 |
| 3.4.2 Podsystem úprava – upnutia – čas .....          | 65 |
| 3.4.3 Podsystem dátum – dovoz – materiál .....        | 66 |
| 3.4.4 Vyhodnotenie objednávky pomocou M-file.....     | 67 |
| 3.4.5 Fuzzy model v GUI (MATLAB).....                 | 71 |
| 3.5 Porovnanie modelov MS Excel vs. MATLAB .....      | 73 |
| 3.5.1 Porovnanie výsledkov modelov.....               | 73 |
| 3.5.2 Porovnanie programov.....                       | 75 |
| 3.6 Zhodnotenie prínosu riešenia .....                | 76 |
| ZÁVER .....   | 77 |
| ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV .....                        | 78 |
| ZOZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKOV .....                       | 79 |
| ZOZNAM POUŽITÝCH TABULIEK.....                        | 81 |
| ZOZNAM PRÍLOH.....                                    | 82 |

## ÚVOD

Diplomová práca sa zaoberá témou hodnotenia zákazníkov pre firmu ZKN METAL s.r.o., ktorá sa venuje obrábaniu kovov a výrobe kovových súčiastok pre rôznych odberateľov či už v strojárskom, zdravotníckom alebo napríklad potravinárskom priemysle. V súčasnosti je nie len pre konkrétnu vybranú firmu, ale pre všetky podniky, ktoré chcú byť schopné konkurencie, nutné zdokonaľovať svoje postupy a metódy zahrnuté v ich bežnej prevádzkovej činnosti. V dnešnej dobe je jedným z kľúčových faktorov ovplyvňujúcich trend konkurencie využívanie a rozvoj informačných technológií. Tie sa okrem iného dajú veľmi efektívne využiť napríklad na zisťovanie informácií o zákazníkoch a v konečnom dôsledku je vďaka nim firma schopná vyhodnotiť, na ktorý typ zákazníkov je potrebné sa zamerať za účelom prosperity.

Na hodnotenie zákazníka je možné využiť napríklad fuzzy logiku. Fuzzy logika ponúka efektívnu pomoc pri rozhodovaní sa, pričom je na výber viacero možných riešení a dokonca existuje niekoľko kritérií pre výber konkrétneho riešenia. Táto diplomová práca je zameraná práve na zhodnotenie zákazníkov firmy pomocou fuzzy logiky. V diplomovej práci budú spracované dva fuzzy modely, oba presne na mieru pre vybranú spoločnosť - jeden v prostredí programu MS Excel a druhý pomocou programovacieho prostredia MATLAB. Výsledky oboch modelov budú porovnané a následne budú zhrnuté prínosy pre spoločnosť v prípade, že by sa rozhodla jeden zo zostavených modelov reálne využívať pri svojom výbere zákazníka.

## CIEĽ PRÁCE A METODIKA

Cieľom práce je zostaviť funkčný model postavený na princípoch fuzzy logiky. Práca je zameraná na hodnotenie kvality zákazníkov vybranej spoločnosti pomocou fuzzy logiky na základe hodnotenia ich konkrétnych objednávok – objednávka od zákazníka môže byť prijatá alebo odmietnutá. Vzhľadom na to, že firma má prevažne stálych zákazníkov, zostavenie fuzzy modelu na výber samotného zákazníka by nemalo zmysel. S prihliadnutím na obmedzené výrobné kapacity spoločnosti má pre ňu väčší význam zostavenie fuzzy modelu za účelom pomoci pri výbere jednotlivých zákaziek, teda objednávok od svojich zákazníkov. Tie sú prehodnocované na základe viacerých kritérií ako je napríklad počet kusov, dátum plnenia objednávky či výrobná cena a výsledkom hodnotenia objednávok zákazníkov bude informácia, či je zákazka pre spoločnosť výhodná a teda či ju má firma prijať, prehodnotiť alebo odmietnuť.

Za týmto účelom, budú zhotovené dva modely s využitím fuzzy logiky. Prvý bude vytvorený pomocou programu MS Excel a druhý v programovacom prostredí MATLAB. Oba tieto modely budú na konci zasadené do intuitívnych ovládacích rozhraní, ktoré budú uľahčovať ich obsluhu pre každodenného užívateľa.

Samotná práca bude rozdelená na tri hlavné časti. Prvá bude venovaná teoretickému východisku riešenia a teda priblíži základy fuzzy logiky a fuzzy modelovania. V druhej analytickej časti bude predstavená konkrétna vybraná spoločnosť ZKN METAL s.r.o. a budú uvedené informácie o jej výrobných procesoch, ktoré sú potrebné na určenie správnych kritérií pre rozhodovanie sa. V tretej návrhovej časti diplomovej práce budú vytvorené a bližšie popísané samotné fuzzy modely, ktoré budú následne porovnané na základe ich výsledkov.

# 1 TEORETICKÉ VÝCHODISKÁ PRÁCE

Prvá kapitola sa zaoberá teóriou z oblasti fuzzy logiky a fuzzy modelovania. Charakterizuje základné pojmy, ktoré sa pri danej problematike vyskytujú a popisuje princípy uplatňované pri využívaní fuzzy logiky. Tieto poznatky budú ďalej využité v návrhovej časti pri spracovaní samotných modelov pomocou fuzzy modelovania.

## 1.1 Fuzzy logika

V prípade klasickej logiky sú na výber pre charakteristiku prvku možné iba dva stavy – prvok môže byť v stave kedy nadobúda pravdu alebo naopak nepravdu. V reálnom svete ale nie je možné toto tvrdenie vždy uplatniť. Keď sa hovorí o vlastnostiach prvku, vtedy sú prvky priradované do množín s rovnakými vlastnosťami. Je teda možné určiť, či na základe daných vlastností určitý prvok do množiny patrí alebo nepatrí. Z toho vyplýva, že sú možné opäť iba dva stavy so slovným označením *patrí* a *nepatrí*, ktoré je ďalej možné vyjadriť číselne pomocou hodnôt 1 – patrí a 0 – nepatrí. [1] [2] [3]

Teória fuzzy logiky a fuzzy množín bola vytvorená v roku 1965 L. A. Zadehom za účelom odstránenia nepresností, ktoré vznikajú pri používaní klasickej logiky, ktorá umožňuje prvku nadobúdať iba dve hodnoty. Oproti klasickej logike využíva *stupeň príslušnosti* prvku do množiny. Vytvára teda určité *medzistupne*, pomocou ktorých definuje nakoľko daný prvok do množiny patrí. V rámci fuzzy logiky sa tak isto pracuje s pojmom *funkcia príslušnosti*, ktorá je definovaná na intervale  $<0;1>$ . Jeden prvok môže zároveň patriť do viacerých fuzzy množín. Z toho vyplýva, že využitie fuzzy logiky je v mnohých prípadoch vhodnejšie oproti použitiu bežnej klasickej logiky, ktorá môže v určitých prípadoch zlyhať. Fuzzy logika je schopná určiť na koľko prvok do množiny patrí či nepatrí a teda sa jedná o vyjadrenie istoty alebo neistoty príslušnosti konkrétneho prvku. [1]

Slovo *fuzzy* pochádza z anglického jazyka a v preklade znamená *nejasný*, *neostrý* alebo *neurčitý*, čo zodpovedá tomu, že fuzzy logika určuje neistotu medzi konkrétnymi stavmi. V reálnom živote je rozhodovanie sa na základe fuzzy logiky bežne využívané

v každodennom živote, aj keď pojem *fuzzy* nie je všeobecne známy. Je bežným javom, že pre jednoduchšiu a konštruktívnu predstavu sú využívané hodnoty, ktoré sú označované slovne napríklad formou ako *málo*, *stredne* či *veľa*. [2]

## 1.2 Fuzzy množina

Fuzzy množina je označovaná ako *neostrá množina* a určitým spôsobom obecné popisuje klasický koncept množín. Ako už bolo spomenuté predtým, podľa klasickej logiky môže prvok do množiny patriť alebo nepatriť, prípadne môže príslušnosť určitého prvku do množiny nadobúdať dve hodnoty – 1 a 0.

Podľa fuzzy logiky sa dá príslušnosť prvku do množiny *odstupňovať* a podobne ako v klasickej logike, aj vo fuzzy logike je možné s množinami vykonávať operácie ako napríklad *prienik*, *zjednotenie* či *doplňok*.

### 1.2.1 Funkcia príslušnosti

Charakteristická funkcia  $\mu(x)$  pre prvok  $A$  v prípade klasickej logiky, ktorá môže nadobúdať iba dve hodnoty (1 a 0) má tvar:

$$\mu_A(x) = 0 \text{ pre } x \notin A$$

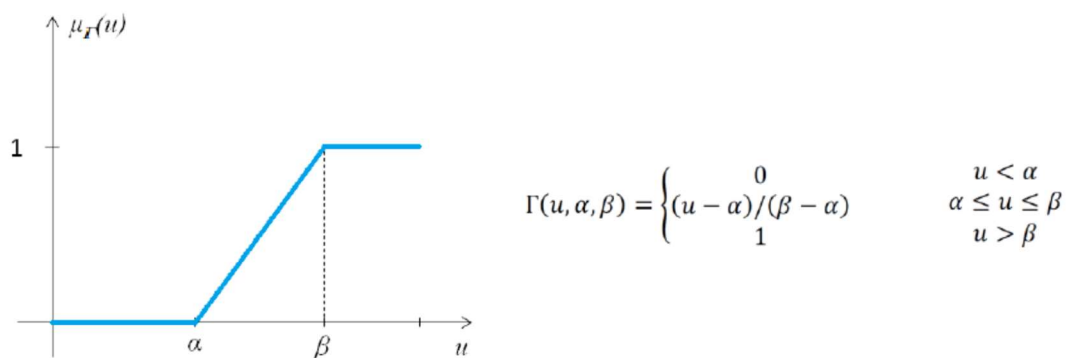
$$\mu_A(x) = 1 \text{ pre } x \in A$$

a charakteristická funkcia fuzzy množiny  $\mu(x)$  pre prvok  $A$ , ktorá sa nazýva *funkciou príslušnosti* (tzv. *membership function*) a môže nadobúdať hodnoty z intervalu  $<0;1>$ , pričom hodnota 0 znamená úplné „nečlenstvo“ a hodnota 1 úplné členstvo prvku, má tvar:

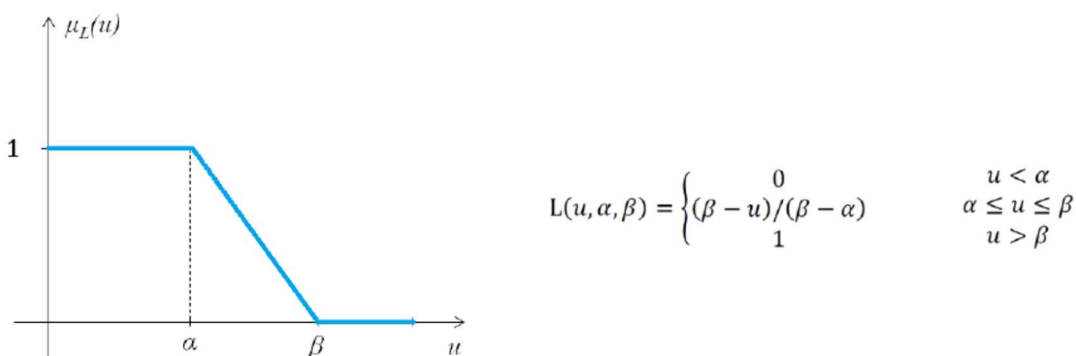
$$\mu_A(x) \in <0;1>$$

Využitie *stupňa príslušnosti* je efektívne najmä pri činnostiach, ktoré nie sú založené na algoritmoch, ako napríklad investície alebo riadenie firiem. Vďaka spôsobu zaradovania prvku do množiny, aký je využívaný pri práci s fuzzy množinou, je možné získať komplexnejšie podklady pre rozhodovanie. [2] [4]

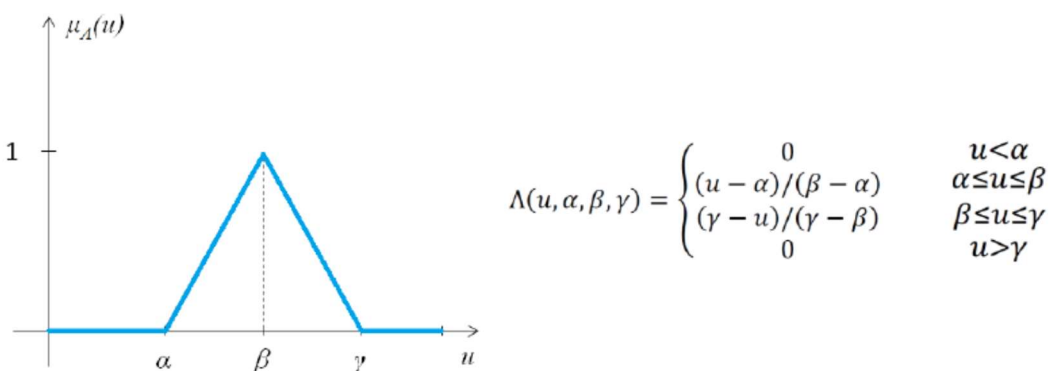
Stupeň príslušnosti je možné vyjadriť matematickou funkciou, ktorá sa nazýva *členská funkcia*. Zjednodušený výpočet členstva sa vykonáva pomocou lomených priamok, pričom najčastejšie využívané sú členské funkcie  $\Gamma$ ,  $L$ ,  $\Lambda$  a  $\Pi$ , a vďaka ich najširšiemu uplatneniu sa označujú ako *štandardné funkcie členstva*. [1] [2]



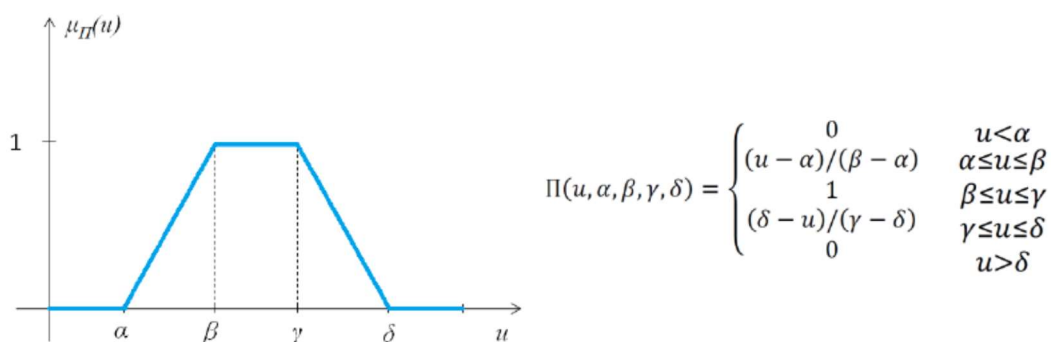
Obrázok 1: Funkcia  $\Gamma$  [Zdroj: 2]



Obrázok 2: Funkcia  $L$  [Zdroj: 2]



Obrázok 3: Funkcia  $\Lambda$  [Zdroj: 2]

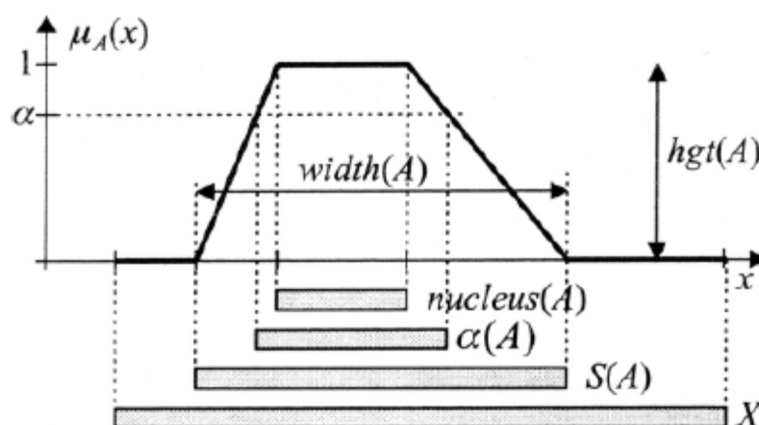


Obrázok 4: Funkcia  $\Pi$  [Zdroj: 2]

### 1.2.2 Vlastnosti fuzzy množiny

V rámci práce s fuzzy množinami je možné merať ich vlastnosti a tieto hodnoty potom ďalej analyzovať. Namerané hodnoty sú označované ako *hlavné vlastnosti* alebo *atribúty*. Ďalej je možné charakterizovať *konvexnosť* či *nekonvexnosť* množiny a tak isto sa dá určiť, či je množina *normálna* alebo *subnormálna*.

Medzi hlavné vlastnosti fuzzy množín sú zaradené tieto atribúty: *výška* –  $\text{hgt}(A)$ , *šírka* –  $\text{width}(A)$ , *jadro* –  $\text{nucleus}(A)$ , *rez* –  $\alpha(A)$ , *nosič* –  $S(A)$  a *univerzum* ( $X$ ). [2]



Obrázok 5: Vlastnosti fuzzy množiny [Zdroj: 2]

*Univerzum* je funkcia, pomocou ktorej je fuzzy množina ( $A$ ) definovaná. Je to vlastne definícia všetkých množinových prvkov (s kladnou aj zápornou funkciou príslušnosti).

$\alpha$  – rez (*alfa-cut*) je definovaný ako prvky príslušné fuzzy množine ( $A$ ), ktorých funkcia príslušnosti je rovná alebo väčšia ako  $\alpha$ :

$$\alpha (A) = [ x \in X / \mu_A(x) \geq \alpha ]$$

*Nosič (support)* je ostrá množina  $S$  fuzzy množiny ( $A$ ). Je definovaná ako množina obsahujúca všetky prvky *univerza* ( $X$ ), ktorých funkcia príslušnosti je kladná:

$$S (A) = [ x / \mu_A(x) > 0 ]$$

*Výška (height)* je funkcia, ktorá hovorí o tom, či je fuzzy množina ( $A$ ) *normálna* alebo *subnormálna*. Pokiaľ je táto funkcia rovná hodnote 1, množinu je možné označiť za normálnu, v opačnom prípade je funkcia subnormálna:

$$hgt (A) = [ \sup (\mu_A(x)), x \in X ]$$

*Šírka (width)* je výsledkom rozdielu fuzzy množiny ( $A$ ) a príslušného *nosiča*  $S$ , ktorý je ohraničený (inými slovami má minimum a maximum). Pokiaľ je fuzzy množina ( $A$ ) *konvexná*, šírku fuzzy množiny ( $A$ ) je možné určiť ako:

$$width (A) = [ \sup (S (A)) - \inf (S (A)) ]$$

*Jadro (nucleus)* je ostrá množina fuzzy množiny ( $A$ ), ktorá obsahuje všetky prvky, pre ktoré platí, že ich funkcia príslušnosti je rovná hodnote 1. Pokiaľ existuje iba jeden bod, v ktorom je funkcia príslušnosti rovná tejto hodnote, je tento bod označovaný ako *špičková hodnota (peak value)*:

$$nukleus (A) = [ x \in X / \mu_A(x) = 1 ]$$

*Normálna* fuzzy množina je množina, ktorej hodnota  $hgt (A)$  je rovná 1 (v prípade grafického znázornenia rovná maximálnej hodnote osi  $y$ ). *Subnormálna* fuzzy množina je teda taká množina, ktorej výška  $hgt (A)$  sa nerovná 1 (nedosahuje maximálnu hodnotu osi  $y$ ).

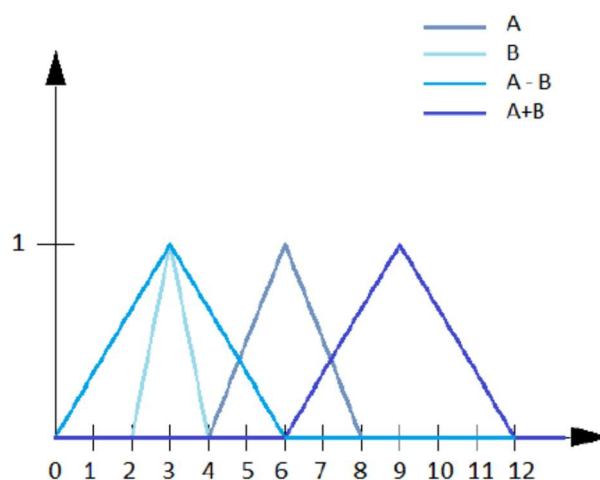
Pri určení *konvexnosti* alebo *nekonvexnosti* fuzzy množiny záleží na tom, či množina nadobúda pri grafickom zobrazení tvar konvexnej funkcie alebo nie. [2]



### 1.2.3 Operácie s fuzzy množinou

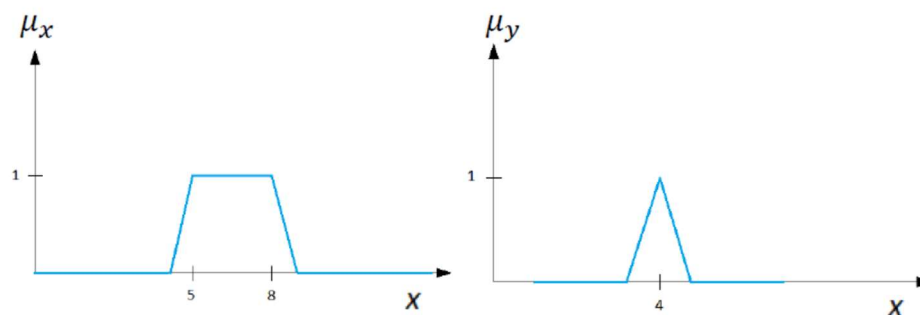
Základné operácie pri práci s fuzzy množinami sú:

- *sčítanie*:  $[a,b] + [c,d] = [a + c, b + d]$  [3]
- *odčítanie*:  $[a,b] - [c,d] = [a - d, b - c]$  [3]



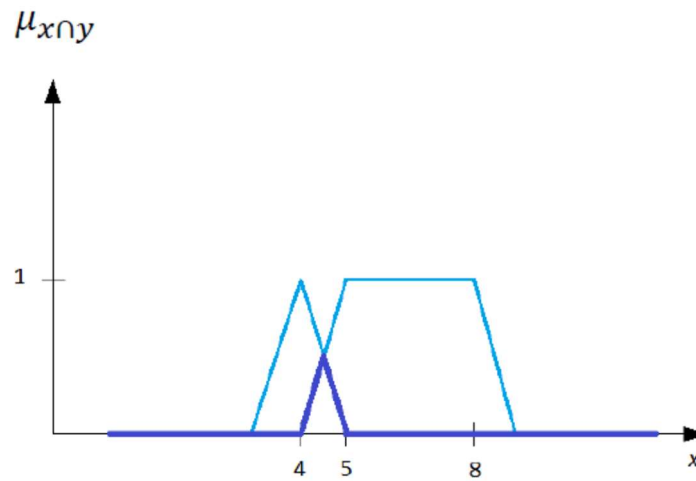
Obrázok 6: Sčítanie a odčítanie fuzzy množín [Zdroj: 3]

- *násobenie*:  $[a,b] * [c,d] = [\min(ac, ad, bc, bd), \max(ac, ad, bc, bd)]$  [3]
- *delenie*:  $[a,b] / [c,d] = [\min(a/c, a/d, b/c, b/d), \max(a/c, a/d, b/c, b/d)]$  [3]



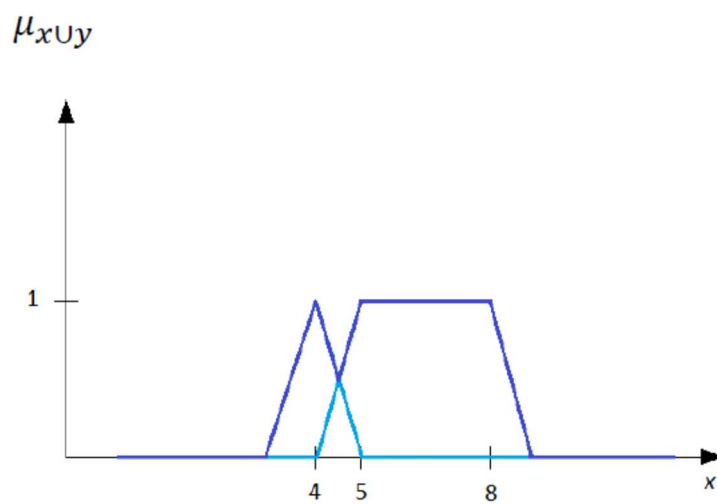
Obrázok 7: Fuzzy množiny  $\mu_x$  a  $\mu_y$  [Zdroj: 3]

- *prienik:*  $\mu(x \wedge y) = \min(\mu_x, \mu_y)$  [3]



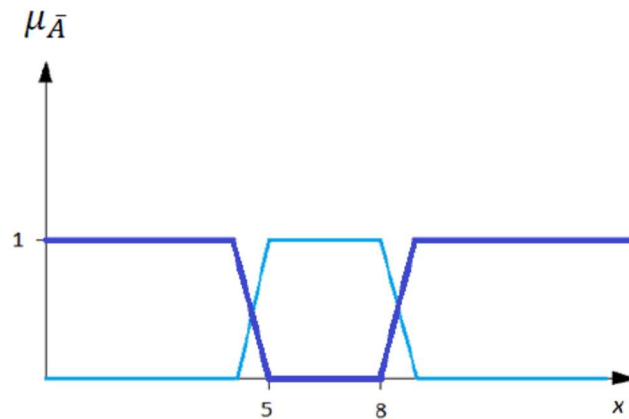
Obrázok 8: Prienik fuzzy množín [Zdroj: 3]

- *zjednotenie:*  $\mu(x \vee y) = \max(\mu_x, \mu_y)$  [3]



Obrázok 9: Zjednotenie fuzzy množín [Zdroj: 3]

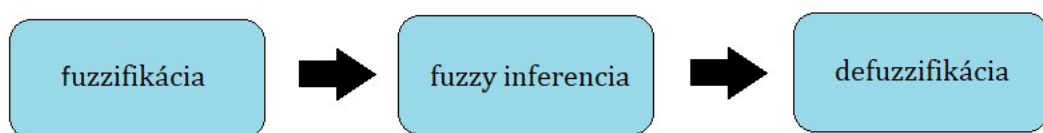
- *doplňok:*  $\mu(\neg x) = 1 - \mu(x)$  [3]



Obrázok 10: Doplnok fuzzy množín [Zdroj: 3]

### 1.3 Fázy fuzzy procesu

Pri vytváraní rozhodovacieho modelu za pomoci fuzzy logiky je tento proces rozdelený na tri hlavné činnosti – *fuzzifikácia*, kde dochádza k transformácii reálnych premenných, *fuzzy inferencia*, ktorá zahŕňa pravidlá na rozhodovanie sa a tak isto jazykové premenné a *defuzzifikácia*, pri ktorej sa jazykové premenné transformujú späť. Tieto bloky nasledujú za sebou ako je zobrazené na obrázku nižšie. [5]



Obrázok 11: Fázy fuzzy procesu [Zdroj: Vlastné spracovanie]

#### 1.3.1 Fuzzifikácia

Fuzzifikácia je teda proces, v ktorom dochádza ku prevodu reálnych premenných na tzv. *jazykové premenné*, ktoré v mnohých prípadoch lepšie zobrazujú realitu ako čísla. Jazykovými premennými môžu byť označené napríklad stupne rizika – *žiadne riziko*, *nízke riziko*, *stredné riziko* alebo *vysoké riziko*. Počet používaných atribútov môže byť

rôzny, zväčša je ich počet v rozmedzí od tri do sedem. Dané atribúty sú priradené do množiny určitým stupňom členstva a ten je vyjadrovaný matematickou funkciou (viď. kapitola 1.2.1 *Funkcia príslušnosti*). [1]

### 1.3.2 Fuzzy inferencia

Ako ďalšia nasleduje vo fuzzy procese fuzzy inferencia. Tá definuje chovanie systému na základe určitých pravidiel. Pravidlá typu <AK> alebo <POTOM> za využitia logických operácií ako napríklad <A> či <ALEBO> zohľadňujú váhu daného pravidla v systéme. Podmienka je zostavená pomocou implikácie fuzzy výrokov, podobne ako je tomu v programovacích jazykoch:

<AK> Vstup A <A> Vstup B ... Vstup X <ALEBO> Vstup Y ... <POTOM> Výstup Z

Kombinácie vstupov medzi <AK> a <POTOM> tvoria pravidlo, ktoré má určitú váhu, pričom je dôležité tieto pravidlá vhodne definovať za účelom vytvorenia spoľahlivého rozhodovacieho systému založeného na princípoch fuzzy logiky. Výstup tvoria opäť jazykové premenné, ktoré jednoznačne vymedzujú výsledok rozhodovania sa, napríklad v prípade hodnotenia objednávky systém vyhodnotí či objednávku *prijat'*, *prehodnotiť* alebo *odmietnuť*. [4]

### 1.3.3 Defuzzifikácia

Posledný krok tvorí proces defuzzifikácie, ktorý je opačným procesom k prvému procesu fuzzifikácie. To znamená, že pri defuzzifikácii dochádza k prevodu numerického výsledku z fuzzy inferencie na reálne hodnoty. Na jazykové premenné sú prevádzané takým spôsobom, aby ich slovné hodnoty čo najpresnejšie zodpovedali numerickým výsledkom fuzzy výpočtu a zároveň aby poskytli užívateľovi čo najzrozumiteľnejší obraz o výsledku rozhodovania sa. [4]

## **1.4 Využitie fuzzy logiky**

Najbežnejšie využitie fuzzy logiky je v oblasti expertných systémov, ktorých účelom je podporovať proces rozhodovania sa a to či už v oblasti poskytovania poistenia, riadení výrobných procesov, riadení firiem ale tiež sa dá využiť napríklad aj k predikcii cenového pohybu určitej komodity či kurzu.

Pre konkrétnejšiu predstavu je tak isto možné model založený na fuzzy logike použiť v technológiách na identifikáciu osôb, rozpoznávanie reči, analýzu portfólia pri investovaní ako aj napríklad riadenie výťahu alebo riadenie práčky (výber vhodného programu založený na množstve obsahu a jeho druhu). [6]

Do kategórie využitia fuzzy logiky na riadenie firiem spadá aj využitie fuzzy logiky pri výbere vhodného zákazníka, či rozhodovaní sa o vhodnom postupe v oblasti práce s objednávkami od zákazníkov, ako je prakticky ukázané v tejto diplomovej práci.

## **1.5 Tvorba fuzzy modelu**

Model na princípe fuzzy logiky je možné spracovať vo viacerých programoch a programovacích prostrediach. V tejto časti budú bližšie popísané dva konkrétne spôsoby tvorby fuzzy modelu. Prvý je spôsob tvorby fuzzy modelu v programe MS Excel a druhý zobrazuje možnosť tvorby fuzzy modelu v programovacom prostredí MATLAB, pričom tieto teoretické postupy budú neskôr využité v návrhovej časti pri samotnej tvorbe modelov, ktoré budú vytvorené presne na mieru pre konkrétnu vybranú spoločnosť za účelom pomoci pri rozhodovaní sa v rámci určitého firemného procesu.

### **1.5.1 Fuzzy model v programe MS Excel**

Program MS Excel je jedným z programov obsiahnutých v balíku MS Office od spoločnosti Microsoft a je to jeden z najpoužívanejších softwarov pre prácu s tabuľkami.

Je určený pre prácu s numerickými i textovými dátami a tieto dáta sú pre lepšiu prehľadnosť uložené vo forme tzv. *zošitov*, ktoré uľahčujú orientáciu v *.xlsx* súboroch. Okrem iného sú v programe rôzne nástroje, ktoré je možné použiť na detailnú analýzu dát, ako napríklad kontingenčné tabuľky či rôzne typy grafov pre zobrazenie grafickej reprezentácie dát, s ktorými užívateľ môže ďalej pracovať.

Pri vytváraní fuzzy modelu v programe MS Excel je súčasťou jeho tvorby zostavenie troch druhov tabuliek, ktoré reprezentujú *transformačnú maticu*, *stavovú maticu* a *retransformačnú maticu*. [2]

Tvorba modelu je vyobrazená na príklade výberu vhodného ojazdeného auta, pričom výsledkom rozhodovania sa je odpoveď na otázku či dané ojazdené auto kúpiť alebo nekúpiť. Kritériá, na základe ktorých prebieha výber sú značka auta, rok výroby, najazdené kilometre, cena, druh pohonného paliva, to či bolo auto niekedy súčasťou autonehody a koľko malo predchádzajúcich majiteľov. Konkrétne výsledky rozhodovania sú popísané štyrmi jazykovými premennými – *nezaújímať sa*, *zistiť informácie*, *kúpiť* a *ihneď kúpiť*, pričom tieto slovné hodnoty presne vymedzujú akciu, ktorú by mal používateľ rozhodovacieho modelu vykonať.

*Transformačná matica* má dve podoby. Prvý druh transformačnej matice obsahuje slovný popis, ktorý pomocou jazykových premenných opisuje kritéria výberu pri danej problematike (viď. *Tabuľka 1*). Následne je z nej vytvorený druhý druh transformačnej matice, ktorá je číselne ohodnotená a to podľa dôležitosti konkrétnych kritérií slúžiacich ako kľúčový faktor v procese rozhodovania sa (viď. *Tabuľka 2*). Zostavenie transformačnej matice, s ktorou sa ďalej pri spracovaní fuzzy modelu pracuje by malo byť prácou skúseného experta v oblasti, ktorý na základe svojich znalostí a skúseností dokáže posúdiť a určiť váhu jednotlivých kritérií pri procese rozhodovania sa. [3]

| Tranformačná matica - slovný popis |            |              |                   |                 |        |        |              |
|------------------------------------|------------|--------------|-------------------|-----------------|--------|--------|--------------|
|                                    | 1.         | 2.           | 3.                | 4.              | 5.     | 6.     | 7.           |
|                                    | Značka     | Rok výroby   | Najazdené km      | Cena (euro)     | Palivo | Nehoda | Majiteľ      |
| 1                                  | Audi       | 2000 a menej | do 50 000         | do 5000         | Benzín | Nie    | Prvý         |
| 2                                  | BMW        | 2001 - 2005  | 50 001 - 100 000  | 5001 - 10 000   | Diesel | Áno    | Druhý a viac |
| 3                                  | Volkswagen | 2006 - 2010  | 100 001 - 150 000 | 10 001 - 15 000 |        |        |              |
| 4                                  | Mercedes   | 2011 - 2015  | 150 001 - 200 000 | 15 001 - 20 000 |        |        |              |
| 5                                  | Seat       | 2016 a viac  | 200 001 - 250 000 | 20 001 - 25 000 |        |        |              |
| 6                                  | Ford       |              | 250 001 a viac    | 25 001 a viac   |        |        |              |

*Tabuľka 1: Transformačná matica – slovný popis [Zdroj: Vlastné spracovanie]*

| Transformačná matica - číselne ohodnotená |        |            |              |             |        |        |         |
|---|--------|------------|--------------|-------------|--------|--------|---------|
|   | 1.     | 2.         | 3.           | 4.          | 5.     | 6.     | 7.      |
|   | Značka | Rok výroby | Najazdené km | Cena (euro) | Palivo | Nehoda | Majiteľ |
| 1   | 10,0   | 0,0        | 20,0         | 10,0        | 5,0    | 10,0   | 10,0    |
| 2   | 15,0   | 5,0        | 17,0         | 18,0        | 15,0   | 0,0    | 0,0     |
| 3   | 15,0   | 10,0       | 15,0         | 20,0        |        |        |         |
| 4   | 5,0    | 18,0       | 10,0         | 15,0        |        |        |         |
| 5   | 5,0    | 20,0       | 5,0          | 10,0        |        |        |         |
| 6   | 5,0    |            | 0,0          | 5,0         |        |        |         |

Tabuľka 2: Transformačná matica – číselne ohodnotená [Zdroj: Vlastné spracovanie]

Stavová matica sa zostavuje pre konkrétny vstup, ktorý do modelu rozhodovania sa vstupuje. V prípade použitého príkladu je stavová matica jeden konkrétny druh automobilu, ktorý je v kúpnej ponuke. Tak isto môže mať slovný popis, ale častejšie sa využíva v číselnom tvare, kedy je vstup zapísaný pomocou hodnôt 0 (nepravda) a 1 (pravda). Čo sa týka zostavovania stavovej matice, opäť je vhodné, aby stavovú maticu zostavoval človek, ktorý sa danej problematike, na ktorú je model rozhodovania aplikovaný, rozumie. Ideálne by malo ísť o toho istého jedinca, ktorý už v prvom kroku zostavoval maticu transformačnú. [3]

| Vstupná matica č.1 - BMW 520d |        |            |              |             |        |        |         |
|-------------------------------|--------|------------|--------------|-------------|--------|--------|---------|
|                               | 1.     | 2.         | 3.           | 4.          | 5.     | 6.     | 7.      |
|                               | Značka | Rok výroby | Najazdené km | Cena (euro) | Palivo | Nehoda | Majiteľ |
| 1                             | 0      | 0          | 0            | 0           | 0      | 1      | 1       |
| 2                             | 1      | 0          | 1            | 0           | 1      | 0      | 0       |
| 3                             | 0      | 0          | 0            | 0           | 0      | 0      | 0       |
| 4                             | 0      | 0          | 0            | 1           | 0      | 0      | 0       |
| 5                             | 0      | 1          | 0            | 0           | 0      | 0      | 0       |
| 6                             | 0      | 0          | 0            | 0           | 0      | 0      | 0       |

Tabuľka 3: Stavová matica [Zdroj: Vlastné spracovanie]

V ďalšom kroku dochádza ku skalárnemu súčinu číselne ohodnotenej transformačnej matice a stavovej matice. V prípade, že užívateľ radšej pracuje s percentuálnym vyjadrením, je možné výsledok skalárneho súčinu previesť na percentá pomocou rozdielu medzi výsledkom a sumou minimálnych hodnôt vydelenou rozdielom maximálnej a minimálnej sumy vynásobeným hodnotou 100. Výsledok v percentách potom presne číselne vyjadruje zhodu s požiadavkami, teda mieru naplnenia preferovaných kritérií kľúčových pre rozhodovanie sa v danej konkrétnej oblasti, pre ktorú bol model vytvorený. [3]

|          |   |                  |     |           |      |             |   |
|----------|---|------------------|-----|-----------|------|-------------|---|
| Kontrola | 1 | 1                | 1   | 1         | 1    | 1           | 1 |
| OK       |   | Skalárny súčin = | 102 | Percento: | 91,6 | Ihneď kúpiť |   |

Tabuľka 4: Výsledok skalárneho súčinu [Zdroj: Vlastné spracovanie]

Ako tretia, inými slovami posledná v poradí, je vytvorená *retransformačná matica*, ktorá slúži ku defuzzifikácii výsledných numerických hodnôt, a teda prevádza číselné hodnoty naspäť na jazykové premenné, ktoré budú pre užívateľa jednoznačnejšie. [3]

| Retransformačná matica |          |                   |
|------------------------|----------|-------------------|
|                        | Body v % | Auto              |
| 1                      | 0 - 30   | Nezaujímať sa     |
| 2                      | 31 - 60  | Zistiť informácie |
| 3                      | 61 - 90  | Kúpiť             |
| 4                      | 91 - 100 | Ihneď kúpiť       |

Tabuľka 5: Retransformačná matica [Zdroj: Vlastné spracovanie]

Pre lepšie pochopenie práce rozhodovacieho modelu založeného na princípoch fuzzy logiky je nižšie zobrazená výsledná tabuľka (Tabuľka 6) zobrazujúca komplexný príklad rozhodovania sa, kedy boli v ponuke na kúpu štyri rôzne automobily, teda boli zostavené štyri stavové rovnice, ktoré tvorili vstupy pre proces rozhodovania sa. Táto výsledná tabuľka zobrazuje výsledky v numerickej forme (v percentách) ako aj v slovnom vyjadrení dosiahnutom za pomoci aplikovania retransformačnej matice.

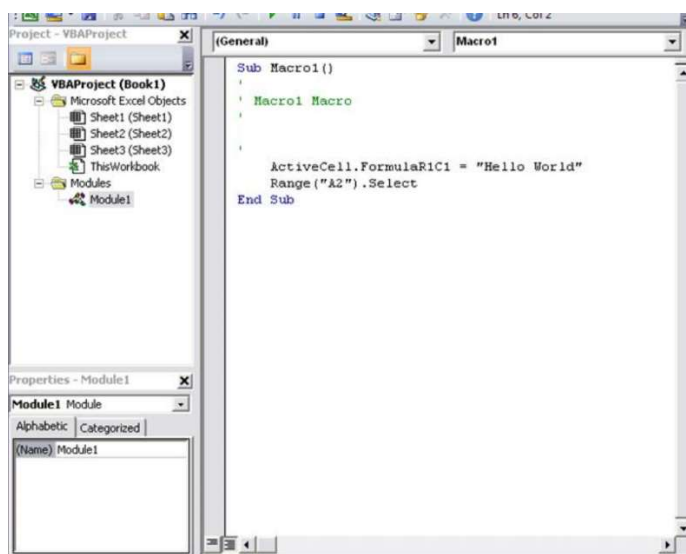
|           | BMW 520d    | Audi Q7 | BMW 440i | Volkswagen POLO   |
|-----------|-------------|---------|----------|-------------------|
| Percento: | 91,6        | 75,8    | 65,3     | 42,1              |
| Výsledok: | Ihneď kúpiť | Kúpiť   | Kúpiť    | Zistiť informácie |

Tabuľka 6: Výsledná tabuľka [Zdroj: Vlastné spracovanie]



### 1.5.2 Fuzzy model v GUI

Je viacero spôsobov ako model spracovaný v MS Excel zasadiť do grafického, užívateľsky prívetivejšieho a intuitívnejšieho prostredia GUI (*graphical user interface*). Konkrétne existujú dve možnosti, pomocou ktorých je toto spracovanie pomerene jednoduché. Prvou možnosťou je využitie *VBA* alebo inak *Visual Basic for Applications*, čo je doplnok, ktorý je okrem iných súčasťou programu MS Excel. VBA využíva rôzne druhy užívateľských formulárov a modulov kódu, ktoré umožňujú konečnému užívateľovi pracovať v priateľskejšom a jednoduchšom prostredí. Formuláre sú jednoduché na ovládanie, sú intuitívne a pochopiteľné bez nutnosti prečítania príručiek alebo používania ďalšej pomoci. To znamená, že pri použití programovacieho prostredia VBA na prácu s fuzzy modelom zostaveným v MS Excel nemusí konečný používateľ vôbec ovládať znalosti programu MS Excel, pretože bude pracovať len s oknom, kde bude len jednoducho vyplňať a ovládať prvky, ktoré budú jednoznačne popísané. VBA je dobrým prostriedkom na prácu aj v prípade, že používateľ potrebuje určitý proces zautomatizovať či zopakovať niekoľko krát za sebou. Druhou možnosťou je využitie makier, pomocou ktorých je možné napríklad priradovať tlačidlám konkrétne funkcie. Rovnako ako prvý spôsob, aj využitie makra v programe MS Excel je pomerne jednoduché a dosahuje rovnaký výsledok. [7]

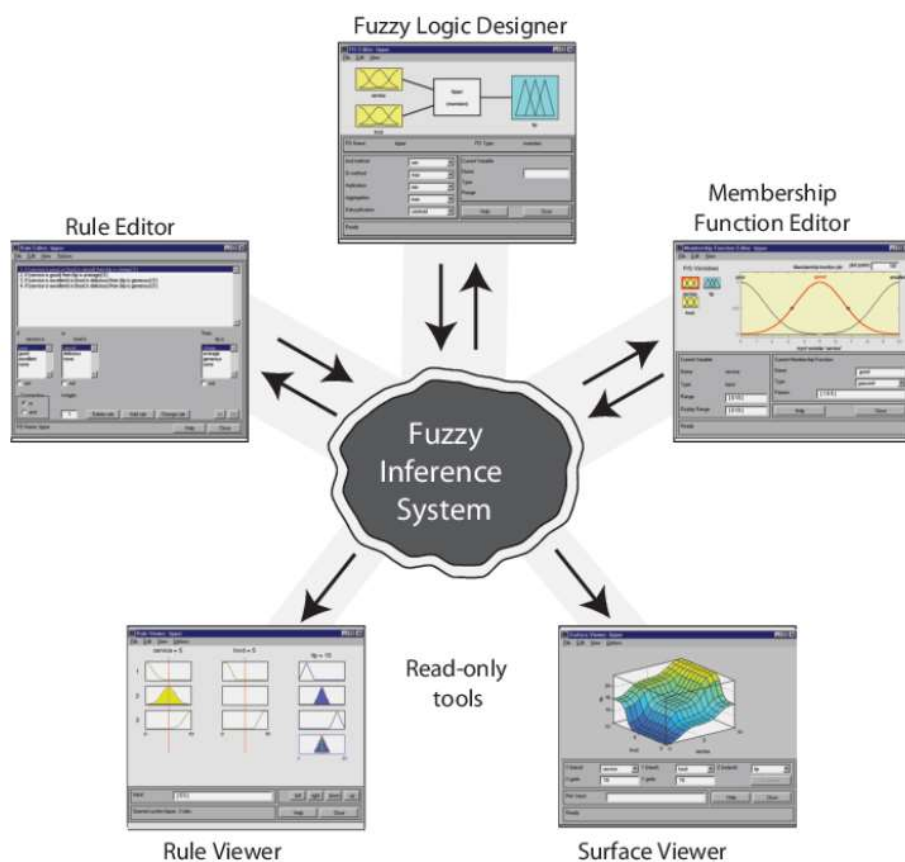


Obrázok 12: Programovacie prostredie VBA [Zdroj: 7]

### 1.5.3 Fuzzy model v programovacom prostredí MATLAB

*MATLAB*, alebo inými slovami *Matrix Laboratory*, je programovacie prostredie, ktoré slúži na vedecko - technické výpočty, simulácie, návrhy algoritmov, meranie, spracovanie signálov, tvorbu modelov a mnoho iných. *MATLAB* obsahuje veľa matematických knižníc a rozširovacích toolboxov pre prácu s dátami, ktoré sú buď priamo súčasťou základnej inštalácie alebo je možné ich doinštalovať neskôr. Pri zostavovaní rozhodovacieho modelu na princípoch fuzzy logiky je využívaný tzv. *Fuzzy Logic Toolbox*, ktorý je možné nájsť v základnej verzii programu *MATLAB*.

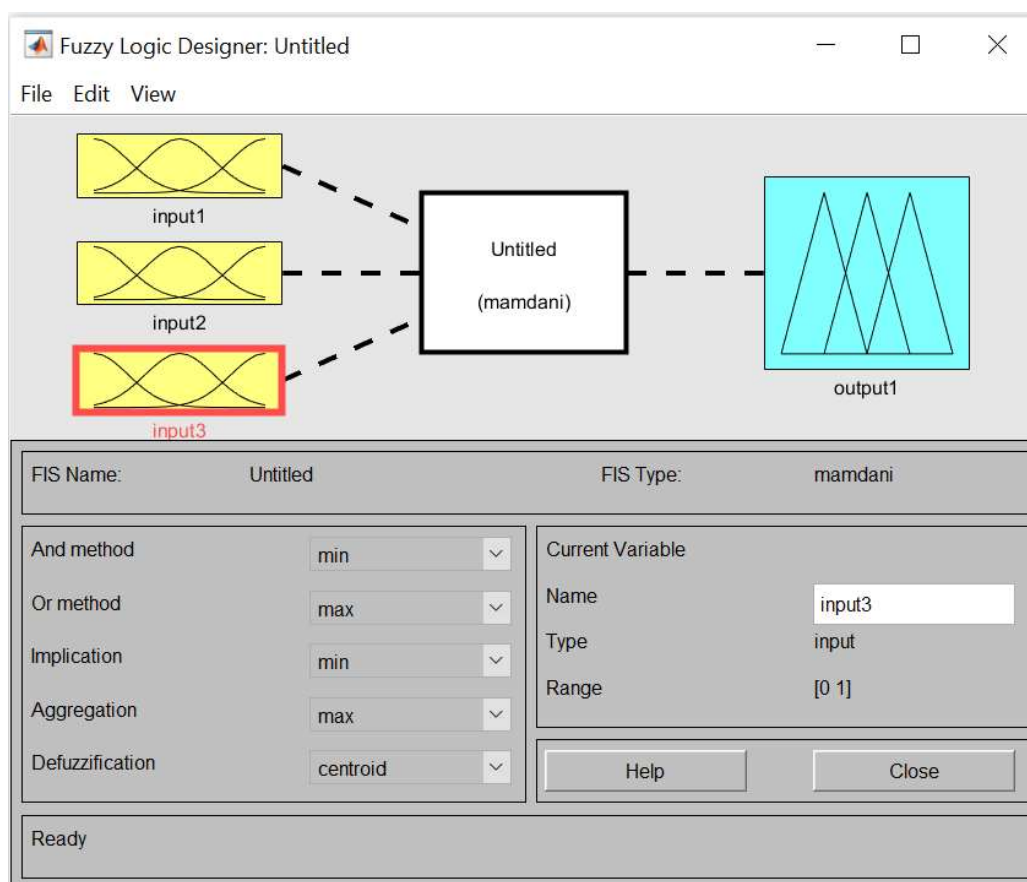
*Fuzzy Logic Toolbox* slúži na modelovanie fuzzy systémov za pomoci grafických nástrojov, pričom práca s nimi je pomerne jednoduchá a prehľadná. Sú v ňom obsiahnuté *editory* a *viewre*, pričom každý plní určitú funkciu dôležitú pri zostavovaní, úprave a sledovaní fuzzy inferencií. [8]



Obrázok 13: Fuzzy Inference System [Zdroj: 8]

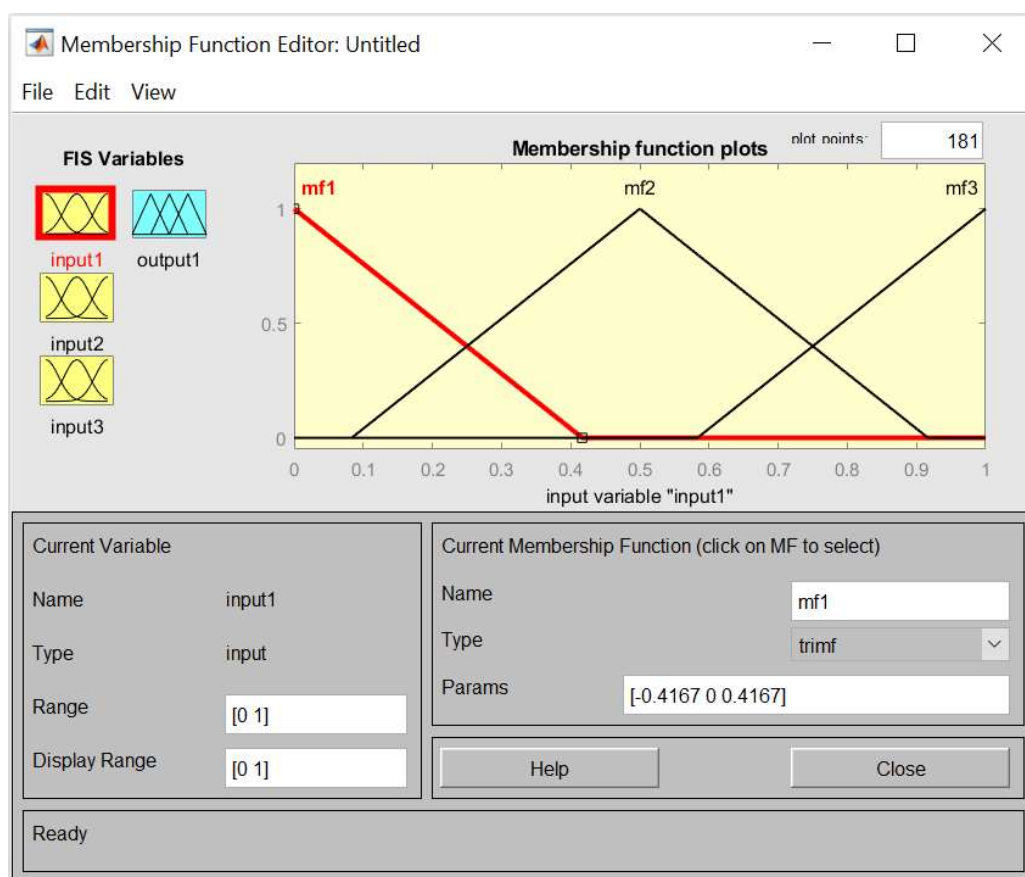
Rozlišuje sa päť nástrojov s ktorými Fuzzy Logic Toolbox pri práci s fuzzy modelom pracuje. Nástroje ako *Fuzzy Logic Designer*, *Membership Function Editor* a *Rule Editor* slúžia na tvorbu a úpravu modelu založeného na princípoch fuzzy logiky. Ostatné dva nástroje – *Rule Viewer* a *Surface Viewer* slúžia na kontrolu a sledovanie už zostaveného modelu, a teda nie je možné v nich model nijakým spôsobom ďalej upravovať.

*Fuzzy Logic Designer*, inak známy aj ako *FIS Editor* (*Fuzzy Inference System Editor*) slúži na definovanie základných parametrov systému. Je v ňom možné definovať počet vstupných a výstupných premenných, teda je v ňom možné jednotlivé vstupy a výstupy pridávať či odoberať, prípadne upravovať ich názvy. Tak isto umožňuje nastaviť typ modelu z dvoch možností – *Mamdani* alebo *Sugeno*, pričom rozdiel medzi nimi je definovaný počtom vstupných premenných. Pre prácu s FIS Editorom je potrebné do príkazového okna programu MATLAB zadať príkaz *fuzzy*, ktorý vzápätí otvorí okno FIS Editoru. [8]



Obrázok 14: Fuzzy Logic Designer [Zdroj: Vlastné spracovanie]

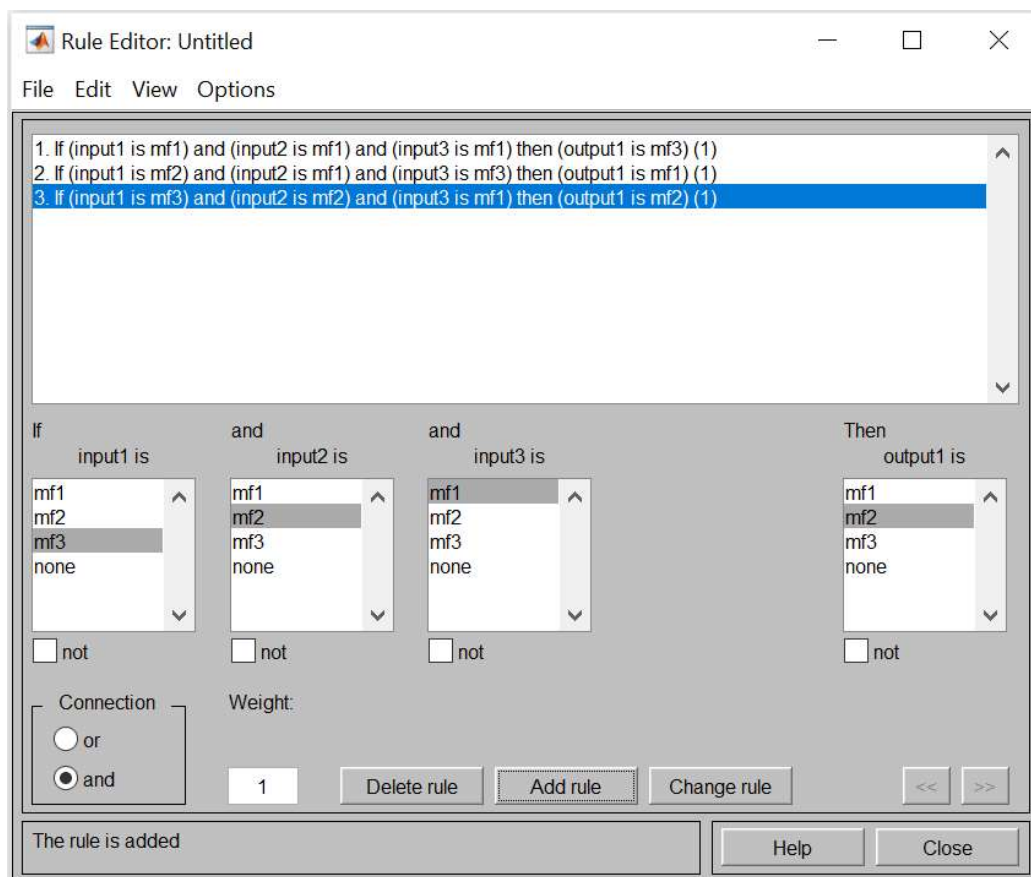
*Membership Function Editor*, alebo aj *MF Editor* slúži na prácu s členskými funkciami jednotlivých vstupov a výstupov fuzzy modelu. MF Editor je možné otvoriť pomocou dvojkliku na ktorýkoľvek vstup alebo výstup v okne Fuzzy Logic Designer. Pomocou MF Editoru je možné presne charakterizovať jednotlivé vstupy a výstupy – určiť pre jednotlivé premenné typ členskej funkcie (*trimf*, *trapmf*, *gaussmf*, *sigmf* a iné), rozsah, a iné dôležité parametre, ktoré presne vymedzujú ich vlastnosti. [8]



Obrázok 15: Membership Function Editor [Zdroj: Vlastné spracovanie]

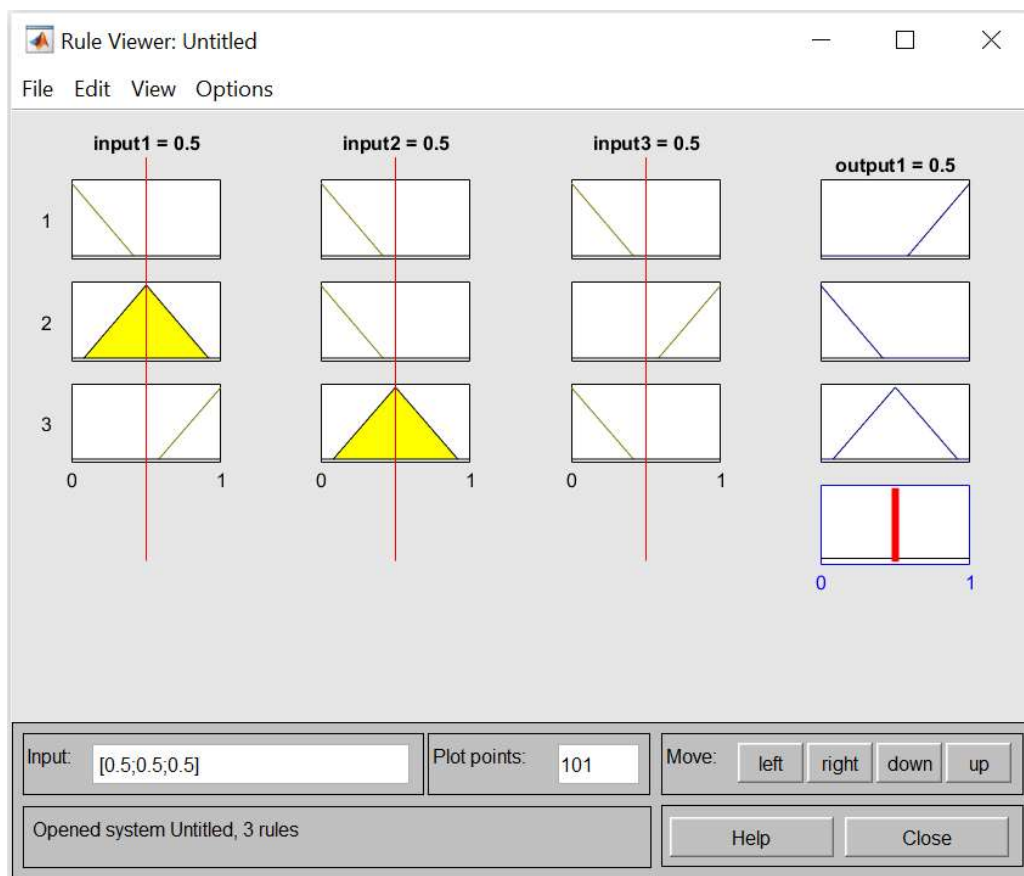
*Rule Editor* umožňuje nastavovať pravidlá pre fuzzy model. Ako už bolo spomenuté predtým, pravidlá definujú vzťahy medzi vstupmi a výstupom. V Rule Editore sa tieto vzťahy definujú pomocou logických operátorov <IF> a <AND> alebo <OR>, pričom je potrebné charakterizovať aj vyhodnotenie podmienky pomocou <THEN>. Je dôležité upozorniť na to, že je možné upravovať aj váhu jednotlivých pravidiel, ktorá je predom

nastavená na hodnotu 1. Pre prácu s Rule Editorom je možné otvoriť jeho okno prostredníctvom FIS Editoru nasledujúcim spôsobom: Menu → Edit → Rules. [8]



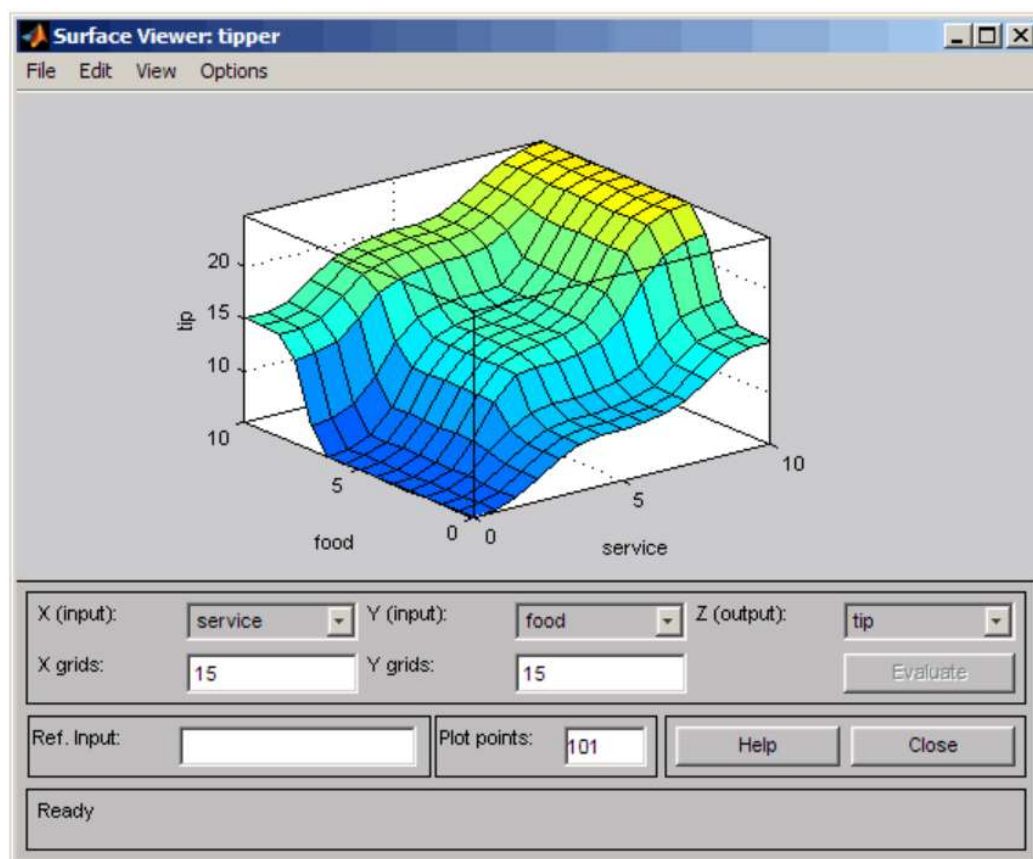
Obrázok 16: Rule Editor [Zdroj: Vlastné spracovanie]

*Rule Viewer* slúži ku grafickému zobrazeniu pravidiel definovaných pomocou Rule Editoru, pričom jednoduchým spôsobom umožňuje sledovať zmeny na výstupe. V tomto okne nie je užívateľovi umožnené vykonávať žiadne zmeny a v prípade, že by užívateľ pri grafickom zobrazení pravidiel pomocou Rule Viewera narazil na nejaké nezrovnalosti, musí sa vrátiť do okna Rule Editoru a pravidlá upraviť tam. Orientácia v okne Rule Viewer je pomerne jednoduchá – riadky predstavujú jednotlivé pravidlá, stĺpce zastupujú jednotlivé premenné. Okno sa opäť otvára pomocou FIS Editoru nasledujúcou cestou: Menu → View → Rules. [8]



Obrázok 17: Rule Viewer [Zdroj: Vlastné spracovanie]

*Surface Viewer* ako posledný nástroj používaný pri tvorbe fuzzy modelu, zobrazuje trojrozmerný model, ktorý popisuje závislosti premenných a vytvorených pravidiel. Podobne ako v prípade Rule Viewer, v okne Surface Viewer nie je možné vykonávať na modeli žiadne zmeny. Pre bližší popis výstupu Surface Viewra je možné popísať trojrozmerný model nasledujúcim spôsobom – osi x a y predstavujú vstupné premenné a na ose z je vynesný vývoj výstupu. Nástroj Surface Viewer je možné zobraziť prostredníctvom okna Rule Viewer a to cez: Menu → View → Surface. [8]

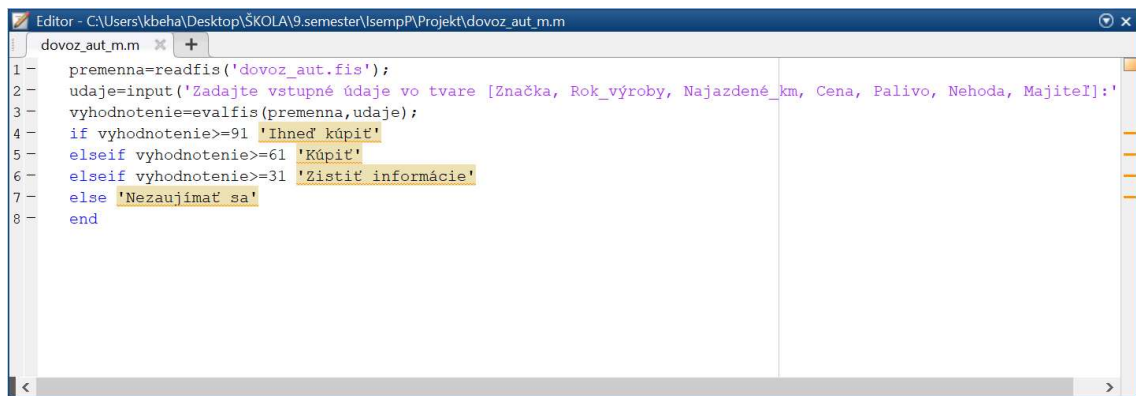


Obrázok 18: Surface Viewer [Zdroj: 8]

Pre prácu s fuzzy modelom vytvoreným pomocou Fuzzy Logic Toolboxu je nutné dodatočne vytvoriť skript v programovacom prostredí MATLAB, ktorý je označovaný ako *M-file*. Vďaka skriptu je možné vytvoriť prostredie, do ktorého bude užívateľ zadávať vstupné hodnoty vo forme matice. Preto je dôležité, aby užívateľ, ktorý s modelom pracuje poznal, aké je ohodnotenie fuzzy inferenčného systému, t. j. aké hodnoty sú priradené jednotlivým kritériám (vstupom).

Samotný skript, ktorý prácu s užívateľským prostredím umožňuje sa skladá z jednoduchých príkazov – funkcia *readfis* načítava fuzzy systém vytvorený pomocou Fuzzy Logic Toolboxu vo formáte *.fis* a prenesie ho do pracovného prostredia vo forme dátovej štruktúry. Potom ako užívateľ zadá vstupnú maticu, funkcia *evalfis* vykoná požadované výpočty a vyhodnotí výstup. [8]





```
1 premenna=readfis('dovoz_aut.fis');
2 udaje=input('Zadajte vstupné údaje vo tvare [Značka, Rok_výroby, Najazdené_km, Cena, Palivo, Nehoda, Majiteľ]:');
3 vyhodnotenie=evalfis(premenna,udaje);
4 if vyhodnotenie>=91 'Ihned kúpiť'
5 elseif vyhodnotenie>=61 'Kúpiť'
6 elseif vyhodnotenie>=31 'Zistiť informácie'
7 else 'Nezaujímať sa'
8 end
```

Obrázok 19: Ukážka kódu v M-file [Zdroj: Vlastné spracovanie]

#### 1.5.4 Fuzzy model v GUI (MATLAB)

Podobne ako v prípade programu MS Excel, aj programovacie prostredie MATLAB ponúka možnosť zasadiť skript do užívateľsky prívetivejšieho prostredia, kde bude môcť užívateľ pracovať s modelom bez znalosti programovacieho prostredia a príkazov, s ktorými pracuje.

Grafické užívateľské rozhranie v programovacom prostredí MATLAB obsahuje hneď niekoľko druhov aplikácií, ktoré je možné vďaka nemu pre používateľa vytvoriť. Tieto aplikácie sa dajú vytvoriť tromi spôsobmi:

- konvertovanie skriptu do jednoduchej aplikácie – táto aplikácia umožní vďaka použitiu interaktívnych ovládacích prvkov meniť premenné v kóde bez nutnosti programovania,
- interaktívne vytvorenie aplikácie – kde sú integrované dve hlavné úlohy pri tvorbe aplikácií – rozloženie vizuálnych komponentov aplikácie a programovanie správania sa aplikácie, pričom táto forma tvorby aplikácie teda umožňuje rýchly pohyb medzi vizuálnym dizajnom a kódom,
- vytvorenie aplikácie prostredníctvom priameho programovania – pričom dochádza ku vytvoreniu dizajnu užívateľského rozhrania, do ktorého sú prostredníctvom programovania pridané jednotlivé komponenty aplikácie. [9]



## 2 ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU

### 2.1 Predstavenie spoločnosti

**Názov:** ZKN METAL s.r.o.

**Sídlo:** Štúrova 1528, 018 41 Dubnica nad Váhom, Slovenská republika

**Dátum založenia:** 30.08.2001

**Právna forma:** spoločnosť s ručením obmedzeným



*Obrázok 20: Sídlo spoločnosti ZKN METAL s.r.o. [Zdroj: 10]*

Spoločnosť ZKN METAL s.r.o. vznikla v roku 2001 ako nástupca firmy TRUCKSERVIS, ktorá zahájila svoju činnosť už v roku 1991. Táto firma sa pôvodne zaoberala opravou plavidiel pre Slovenskú plavbu a prístavy Bratislava (prevádzka Bratislava) a pre Českú plavbu Labsko-Oderskú (prevádzka Mělník).

Strojárska výroba bola spustená v roku 2001 v prenajatých priestoroch OSP Ilava. Výroba prebiehala na klasických strojoch, frézach, sústruhoch, brúskach a horizontkách. Nakoľko prenajaté priestory boli nevyhovujúce, spoločnosť sa presťahovala v roku 2003 do prenajatých priestorov v areáli ZVS a.s., Dubnica nad Váhom. V roku 2012 boli

odkúpené výrobné priestory do vlastníctva spoločnosti a v roku 2014 prebehla dostavba administratívnej časti jej sídla a rekonštrukcia priestorov.

V súčasnosti teda spoločnosť sídli na ulici Štúrova 1528 v Dubnici nad Váhom a disponuje tímom 18 zamestnancov na ploche 1178 m<sup>2</sup>.

Strojný park spoločnosti umožňuje obrábanie kovov klasickým sústružením, frézovaním, brúsením na guľato, brúsením na plocho, zváraním v ochrannej atmosfére, delenie materiálu na pásových pílach ako aj obrábaním na CNC frézkach a sústruhoch. Ďalej firma vykonáva zámočnícke práce, montážne práce technologických zariadení, zabezpečuje povrchové úpravy, tepelné spracovanie materiálov ako aj kooperácie u nej nevyrábaných dielov. Tak isto ponúka výrobu súčiastok a výrobu náhradných dielov podľa výkresovej dokumentácie. Sortiment spoločnosti predstavuje sériovú ale aj kusovú výrobu pre všetky oblasti strojárkej výroby. Dcérska firma METAL TRADE DCA s.r.o. v rámci obchodnej činnosti zabezpečuje dodávky valcovaného materiálu, voľných a zápusťkových výkovkov a ich následné mechanické opracovanie. [10]

## 2.2 Organizačná štruktúra spoločnosti

Organizačná štruktúra spoločnosti je stromová funkcionálna. Vrcholový management tvorí majiteľ, asistentka manažéra a vedúci útvaru ekonomického, výrobného a obchodného. Čo sa týka štýlu riadenia, prevláda autokratický štýl. Okrem majiteľa spoločnosti, ktorý je hlavným aktérom pri pravidelných stretnutiach s odberateľmi a dodávateľmi a dohliada na bezproblémový chod spoločnosti, má firma ZKN METAL s.r.o. ešte:

- *prepravcov* – ktorí zabezpečujú prepravu či už surového materiálu určeného na spracovanie od dodávateľov, alebo hotových vyrobených kusov koncovým odberateľom v prípade, že odberatelia si nie sú schopní dovoz sami zabezpečiť,
- *operátorov výroby* – zamestnancov pracujúcich priamo vo výrobe, ktorí sú schopní obsluhovať príslušné stroje a vymieňať kusy v sériovej výrobe,
- *kontrolóra* – zodpovedného za kvalitu jednotlivých vyrobených kusov,

- *vedúceho výrobného útvaru* – zodpovedného za kvalitu a včasnosť plnenia objednávok,
- *vedúceho ekonomického útvaru* – ktorý je zodpovedný za chod spoločnosti po finančnej stránke, má na starosti účtovníctvo a časť administratívy,
- *vedúceho obchodného útvaru* – ktorý sa zaoberá obchodnými stykmi medzi spoločnosťou a inými zainteresovanými stranami zasahujúcimi do firemných procesov a tak isto má na starosti administratívu a reprezentáciu firmy na trhu,
- *asistentku manažéra* – ktorá je v čase neprítomnosti majiteľa spoločnosti zodpovedná za správny chod spoločnosti a pracuje najmä s prijímaním a odosielaním objednávok spoločnosti vrátane ich administratívnej časti. [11]

## 2.3 Odberatelia

Medzi hlavné činnosti spoločnosti ZKN METAL s.r.o. patrí výroba súčiastok a náhradných dielov podľa výkresovej dokumentácie a obrábanie kovov (rezanie pásovou pilou, sústruženie, frézovanie), a to pre všetky oblasti strojárkej výroby. Medzi najčastejších a najväčších odberateľov spoločnosti patria:

- MEOPTA OPTIKA s.r.o. (Přerov, Česká republika) – okrem iného výrobca optometrických systémov, športovej optiky, ručných optických prístrojov a komponentov pre námorné a letecké systémy, elektronických prístrojov a digitálnych technológií a optiky pre obranný priemysel. Konkrétne pre danú spoločnosť vyrába spoločnosť ZKN METAL s.r.o. komponenty na výrobu optických zariadení a prístrojov obranného priemyslu.
- EXERION PRECISION TECHNOLOGY s.r.o. (Olomouc, Česká republika) – výrobca prístrojov pre röntgenovú diagnostiku, diagnostických prístrojov IN VITRO a modulov pre 3D tlačiarne, zdravotníckych prístrojov, zubných röntgenov a tlačiarenských strojov. Zákazky danej spoločnosti pre spoločnosť ZKN METAL s.r.o. sa týkajú komponentov pre výrobu zdravotníckych a potravinárskych zariadení tak isto ako aj tlačiarenských a kopírovacích strojov.

- LB TRADING s.r.o. (Dubnica nad Váhom) – výroba komponentov pre železnice, náhradné diely pre strojársku výrobu. Spoločnosť ZKN METAL s.r.o. pre danú spoločnosť vyrába náhradné diely pre valcovacie trate a stroje na výrobu hutných polotovarov.
- MEOMED s.r.o. (Přerov, Česká republika) – výrobca röntgenových prístrojov pre zdravotníctvo a priemysel, prístrojov pre laboratórnu diagnostiku.
- ZVS IMPEX a.s. (Dubnica nad Váhom) – strojárka výroba, vývoj a výroba zbraní a munície, špeciálna výroba pre obranný priemysel. [11]

## 2.4 Výroba

Základnou výrobnou činnosťou spoločnosti je kovoobrábanie, ktorého výsledkom sú súčiastky pre zdravotníctvo, potravinársky priemysel, optiku a obranný priemysel. Jednotlivé produkty sú vyrábané z hliníka, nerez a ocele. Základ produkcie tvoria diely vyrábané podľa výkresovej dokumentácie. Vzhľadom na stály zoznam odberateľov bol vytvorený zoznam osemnástich najčastejšie sériovo vyrábaných dielov obsahujúci tak isto údaje o odberateľovi, cene, účele, materiáli a počte upnutí daného dielu:

- HR753\_201884E – PLATINE SUP AXE – vyrobený z hliníkovej zliatiny EN AW 5083, odberateľ: EXERION PRECISION TECHNOLOGY (Olomouc), súčiastka v zubnom röntgenovom prístroji, výrobná cena: 56,20€/ks, počet upnutí: 2, výrobný čas: 45 minút,
- 1002687/1 NOSIČ TESTU – vyrobený z hliníkovej zliatiny EN AW 6082, odberateľ: MEOPTA OPTIKA s.r.o. (Přerov), súčiastka optického prístroja, výrobná cena: 10,98€/ks, počet upnutí: 1, výrobný čas: 35 minút,
- HR994\_408375D – BIELLE OREILLE – vyrobený z nerezového materiálu akosti AISI 304L, odberateľ: EXERION PRECISION TECHNOLOGY (Olomouc), súčiastka v zubnom röntgenovom prístroji, výrobná cena: 21,13 €/ks, počet upnutí: 4, výrobný čas: 90 minút,
- 7510\_00773A – SUPPORT – vyrobený z ocele SAE1045, povrchová úprava NICKEL 5-7mic, odberateľ: EXERION PRECISION TECHNOLOGY

(Olomouc), súčiastka tlačiarenskeho stroja, výrobná cena: 7€/ks, počet upnutí: 2, výrobný čas: 40 minút,

- 7510-03573 GUIDE PIN – vyrobený z hliníkovej zliatiny EN AW 6061, povrchová úprava tvrdý elox, odberateľ: EXERION PRECISION TECHNOLOGY (Olomouc), súčiastka tlačiarenskeho stroja, výrobná cena: 4,80€/ks, počet upnutí: 1, výrobný čas: 5 minút,
- 8030208031316 ZÁVITOVÝ KROUŽEK – vyrobený z hliníkovej zliatiny AIMgSi1, odberateľ: MEOPTA OPTIKA s.r.o. (Přerov), súčiastka optického zameriavača, výrobná cena: 1,60€/ks, počet upnutí: 1, výrobný čas: 10 minút,
- 06801660100000 ANSCHLUSSPLATTE – vyrobený z hliníkovej zliatiny EN AW 6061, , odberateľ: MEOPTA OPTIKA s.r.o. (Přerov), súčiastka optického prístroja, výrobná cena: 14,50€/ks, počet upnutí: 2, výrobný čas: 45 minút,
- 252-05420B-F PULLER ARM USER DOOR – vyrobený z nerezového materiálu AISI 304L, odberateľ: EXERION PRECISION TECHNOLOGY (Olomouc), súčiastka tlačiarenskeho stroja, výrobná cena: 22€/ks, počet upnutí: 3, výrobný čas: 150 minút,
- HR685\_303914E SUPPORT DE ROULEMENT – vyrobený z hliníkovej zliatiny EN AW 2017, odberateľ: EXERION PRECISION TECHNOLOGY (Olomouc), súčiastka v zubnom röntgenovom prístroji, výrobná cena: 13 €/ks, počet upnutí: 2, výrobný čas: 150 minút,
- 07501042093600/1 FILTER ARM - vyrobený z hliníkovej zliatiny EN AW 6061, odberateľ: MEOPTA OPTIKA s.r.o. (Přerov), súčiastka optického prístroja, výrobná cena: 26,30€/ks, počet upnutí: 2, výrobný čas: 45 minút,
- 0577025715811 OBJÍMKA REKTIKATORU – vyrobený z hliníkovej zliatiny EN AW 6082, odberateľ: MEOPTA OPTIKA s.r.o. (Přerov), súčiastka optického prístroja, výrobná cena: 2,04€/ks, počet upnutí: 1, výrobný čas: 20 minút,
- 03920471010110/1 KRYTKA – vyrobený z hliníkovej zliatiny EN AW 6082, odberateľ: MEOPTA OPTIKA s.r.o. (Přerov), súčiastka optického prístroja, výrobná cena: 1,52€/ks, počet upnutí: 1, výrobný čas: 10 minút,
- 1003175 HEAT SINK, SENSOR SPECTR – vyrobený z hliníka EN AW 6061, odberateľ: MEOPTA OPTIKA s.r.o. (Přerov), súčiastka optického prístroja, výrobná cena: 129,92€/ks, počet upnutí: 3, výrobný čas: 180 minút,

- 1000690 COVER CONNECTOR – vyrobený z hliníkovej zliatiny EN AW 6082, odberateľ: MEOPTA OPTIKA s.r.o. (Přerov), súčiastka optického prístroja, výrobná cena: 17,95€/ks, počet upnutí: 2, výrobný čas: 90 minút,
  - HRA06\_408377B FIXATION LATERALE – vyrobený z nerezového materiálu akosti AISI 303, odberateľ: EXERION PRECISION TECHNOLOGY (Olomouc), súčiastka v zubnom röntgenovom prístroji, výrobná cena: 6,21€/ks, počet upnutí: 2, výrobný čas: 25 minút,
  - 1008018 TUBUS MEORED T – vyrobený z hliníkovej zliatiny EN AW 6082, odberateľ: MEOPTA OPTIKA s.r.o. (Přerov), tubus optického zameriavača, výrobná cena: 22,86€/ks, počet upnutí: 2, výrobný čas: 40 minút,
  - HR507\_101248J FORREAU AXE PRINCIPAL – vyrobený z hliníkovej zliatiny EN AW 2017, odberateľ: EXERION PRECISION TECHNOLOGY (Olomouc), súčiastka v zubnom röntgenovom prístroji, výrobná cena: 39,98€/ks, počet upnutí: 3, výrobný čas: 88 minút,
  - 05770257169110/1 TUBUS OBJEKTÍVU – vyrobený z hliníkovej zliatiny EN AW 6082, odberateľ: MEOPTA OPTIKA s.r.o. (Přerov), objektív optického zameriavača, výrobná cena: 56,25€/ks, počet upnutí: 4, výrobný čas: 100 minút.
- [11]

## 2.5 Opis výrobného procesu

Za hlavný firemný proces spoločnosti ZKN METAL s.r.o. je považovaný proces spojený s prijatím objednávky od odberateľa s následným nákupom a opracovaním surového materiálu za účelom vyhotovenia konkrétnej súčiastky podľa výkresovej dokumentácie v potrebnom počte a kvalite za konkrétny predom určený čas.

Z procesného hľadiska má výrobný postup na technologických zariadeniach nasledujúcu realizáciu:

- Nákup materiálu od dodávateľa nákupcom.
- Prijem materiálu na sklad, kontrola materiálu, atesty. Realizované nákupcom.
- Delenie materiálu na píle PTX 346 TSA 60/60 (PILOUS) operátorom stroja.

- Vydanie výkresovej dokumentácie, sprievodky zákazky, kde je uvedené číslo výkresu, množstvo objednaných kusov, odberateľ, termín plnenia a meno pracovníka prevádzajúceho príslušnú operáciu. Všetko realizované vedúcim výroby.
- Prevzatie nadeleného materiálu spolu s výkresovou dokumentáciou operátorom stroja.
- Naprogramovanie operácie podľa výkresovej dokumentácie a 3D modelu operátorom stroja.
- 1. poloha – frézovanie tvaru, vrtanie otvorov, rezanie závitov, frézovanie uhlov a zrážanie hrán. Realizované operátorom stroja.
- Medzioperačná kontrola realizovaná kontrolórom výroby.
- 2. poloha – frézovanie tvaru, vrtanie otvorov, rezanie závitov, frézovanie uhlov a zrážanie hrán. Realizované operátorom stroja.
- Medzioperačná kontrola realizovaná kontrolórom výroby.
- Po dokončení práce na fréze posun dielca na pracovisko zámočníkov.
- Ohranovanie miest zámočníkom.
- Kontrola hotového dielca na 3D meracom prístroji, konečná kontrola realizovaná kontrolórom výroby. [11]

### 2.5.1 Detailný výrobný postup súčiastky

Pre lepšie pochopenie výrobného procesu a určenie kritérií potrebných na vyhodnotenie objednávky je vypracovaný detailný výrobný postup súčiastky HR507\_101248J FORREAU AXE PRINCIPAL.

Ako prvý krok vo výrobnom postupe súčiastky je zabezpečenie vstupného materiálu EN AW 2017 o rozmere  $\varnothing 100 \times 300 \text{ mm}$  od dodávateľa. Následne je materiál prijatý na sklad, dochádzka ku jeho kontrole a atestoch vykonávaných nákupcom spoločnosti. Prvá operácia sa týka delenia materiálu na pásovej pile PTX 346 TSA 60/60, ktoré vykonáva operátor stroja. Dochádza ku deleniu materiálu  $\varnothing 100$  na dĺžku  $211 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ , čas trvania je 3 minúty.

Nasleduje vydanie výkresovej dokumentácie a sprievodky k zákazke, ktorá obsahuje číslo výkresu, množstvo objednaných kusov termín plnenia a meno operátora prevádzajúceho príslušnú operáciu. Zamestnanec zodpovedajúci za vydanie výkresovej dokumentácie a sprievodky je vedúci výroby.

Ďalším krokom je samotná výroba dielca, ktorá začína prvým upnutím materiálu vykonaným zodpovedným operátorom výroby. Upnutie prebieha na sústruhu a ide o navrtanie otvoru 49,5mm skrz. Doba trvania je 18 minút.

Druhé upnutie zahŕňa naprogramovanie operácie a výrobu – vykonáva opäť operátor stroja. Upnutie obsahuje nasledujúci postup: sústružiť prvú stranu na  $\varnothing 92\text{mm}$ , sústružiť priemer 89mm, pretočiť otvor na 62 H7, upnúť za  $\varnothing 89\text{mm}$ , previesť zápich  $T=5$  na  $\varnothing 70,5\text{mm}$ , upnúť za  $\varnothing 89\text{mm}$ , frézovať všetky tvary podľa výkresu, vŕtať otvory po obvode, upnúť za  $\varnothing 89\text{mm}$ , sústružiť  $\varnothing 67$  H7, sústružiť zápich v otvore. Doba trvania postupu druhého upnutia je 22 minút.

Dochádzka ku medzioperačnej kontrole vykonávanej kontrolórom výroby.

Tretie upnutie vykonávané opäť operátorom stroja zahŕňa: frézovanie vybrania  $90^\circ$  do hĺbky 10mm, frézovanie plošky a vŕtanie otvorov na  $\varnothing 100\text{mm}$ . Čas tretieho upnutia je 28 minút.

Ako posledná prebieha kontrola hotového dielca na 3D meracom prístroji. Ide o konečnú kontrolu vykonávanú opäť kontrolórom výroby.

Celkový prípravný čas pre dielec je 20 minút. Celkový výrobný čas je 88 minút. Cena výroby dielca je približne 40 eur. [11]

## 2.6 Hodnotenie objednávky

Ako už bolo uvedené v podkapitole týkajúcej sa organizačnej štruktúry spoločnosti (kapitola 2.2 *Organizačná štruktúra spoločnosti*), prijímanie objednávok je najmä zodpovednosťou asistentky manažéra spoločnosti ZKN METAL s.r.o. Práve ona má za úlohu vyhodnotiť, či je zákazka pre spoločnosť výhodná, či má momentálne spoločnosť výrobné kapacity na jej splnenie v požadovanom termíne a či na ňu má potrebný materiál,



prípadne či je ho spoločnosť schopná včas zadovážiť. Vzhľadom na dlhodobé pracovné skúsenosti na danej pozícii je pre tohto zamestnanca otázkou pár minút dané informácie overiť a podľa toho ďalej postupovať.

Spoločnosť ZKN METAL s.r.o. sa však snaží svoj technologický park neustále inovovať výmenou a nákupom nových strojov, rozšírením ponuky materiálov, s ktorými pracuje a spektrom rôznych dielov, ktoré dokáže vyrobiť. Preto je čoraz náročnejšie a zdĺhavejšie vyhodnocovať doručené objednávky v tak krátkom čase bez pomoci systému určeného na podporu rozhodovania sa.

Ďalším faktorom, ktorý by sa dal považovať za nevýhodu je, že vyhodnotenie objednávok má na starosti iba jeden zamestnanec a v prípade jeho neprítomnosti nastávajú problémy, pretože ostatní zamestnanci, ktorí ho v čase jeho neprítomnosti zastupujú, nemusia mať vedomosti ohľadom posudzovania objednávok na rovnakej úrovni. [11]

Na základe vyššie uvedených dôvodov by bolo pre spoločnosť výhodné vytvorenie systému na podporu rozhodovania sa navrhnutého podľa expertných znalostí zamestnanca pracujúceho s prijímaním objednávok.

### **2.6.1 Kritériá pre hodnotenie objednávky**

Objedávka od zákazníka môže byť prijatá alebo odmietnutá na základe určitých kritérií. Za pomoci asistentky manažéra pracujúcej s prijímaním objednávok bolo stanovených 9 konkrétnych kritérií pre hodnotenie objednávky:

- *Odberateľ* – Spoločnosť aktuálne zabezpečuje odbyt prostredníctvom štandardných objednávok, ale s najväčšími odberateľmi (napr. MEOPTA OPTIKA s.r.o., EXERIOR PRECISION TECHNOLOGY s.r.o.) má spoločnosť uzatvorené rámcové zmluvy na ročné obdobie. Vedenie spoločnosti (majiteľ spoločnosti, vedúci výroby a obchodný zástupca) priebežne komunikujú s dlhoročnými odberateľmi a pravidelne ich navštevujú, pričom pri osobných návštevách sú prerokovávané konkrétne objednávky, cenové ponuky ako aj kvalita požadovaného projektu. Tak isto sú prerokované nové návrhy zo strany odberateľa a zhodnotia sa klady a prípadne nedostatky vzájomnej spolupráce.

Z tohto dôvodu sú dlhodobí odberatelia uprednostňovaní pred ostatnými cudzími zákazníkmi. Samozrejme v rámci zabezpečovania odbytu sú oslovení aj noví potencionálni zákazníci prostredníctvom reklamy na internete či v časopise PRIEMYSEL DNES, webovej stránky, letákmi či prípadne osobnými návštevami.

- *Dátum plnenia* – Ideálny dátum plnenia objednávky je čas dokedy je pre spoločnosť reálne objednávku spracovať vzhľadom na ľudské, materiálne a nákladové zdroje s určitou časovou rezervou. Zároveň by dátum plnenia nemal byť príliš vzdialený od jej zadania, pretože v prípade predčasného spracovania zákazky môže dochádzať ku prípadnému zvýšeniu nákladov na skladovanie.
- *Počet kusov* – Vzhľadom na druh výroby, ktorá je sériová a teda dochádza ku nastavovaniu jednotlivých strojov výroby na výrobu požadovaného dielu, je pre spoločnosť výhodnejšie vyrábať diely v čo najväčšom počte.
- *Dovoz* – Konkrétne dodávky výrobkov sú zabezpečované buď vlastnou dopravou odberateľov alebo prepravnými spoločnosťami, kuriérskou službou, prípadne poštou (pri menej rozmernej produkcii). V prípade dopravy prepravnými spoločnosťami je povinnosťou spoločnosti zabezpečiť túto dopravu a teda dochádza ku ďalším výdavkom na zabezpečenie dopravy. Z tohto dôvodu je pre spoločnosť výhodnejšie, keď odberatelia využívajú vlastnú dopravu na vyzdvihnutie objednávok.
- *Výrobná cena/dielec* – Kritérium určujúce výrobnú cenu jedného dielu. Pre spoločnosť je dôležité v rámci udržania konkurencieschopnosti stanoviť výrobné ceny tak, aby boli čo najnižšie a zároveň aby bol proces výroby vykonávaný čo najviac kvalitne a to z čo najkvalitnejších dostupných materiálov.
- *Materiál* – Materiál je zabezpečovaný stálymi dodávateľmi a kritérium zahŕňa okrem ceny jednotlivých materiálov aj náročnosť ich opracovania.
- *Povrchová úprava* – Súčasťou výrobného procesu niektorých dielov je aj povrchová úprava hotového dielu. To zvyšuje náklady na potrebný materiál ako aj čas výroby dielu a teda v konečnom dôsledku aj jeho výrobnú cenu.
- *Počet upnutí* – Určuje komplikovanosť samotného výrobného procesu. Upnutie označuje zmenu nastavenia výrobného stroja alebo jeho úplnú výmenu za iný výrobný stroj. Upnutia sú vykonávané operátormi strojov a medzi jednotlivými

upnutiami dochádza ku časovému oneskoreniu, ktoré sa zarátava do tzv. prípravného času pre diel.

- *Výrobný čas/dielec* – Charakterizuje celkový výrobný čas jedného dielu. Ide o čas, v ktorom je diel vyrábaný a ďalej spracovávaný strojmi, ktoré sú obsluhované operátormi výroby. Výrobný čas nezahŕňa tzv. prípravný čas (ten je charakterizovaný počtom upnutí). [11]

Cieľom tejto diplomovej práce je na základe daných kritérií vytvoriť systém na podporu rozhodovania sa založený na princípoch fuzzy logiky, ktorý by uľahčil prácu zamestnancov spoločnosti a zefektívnil celý firemný proces týkajúci sa hodnotenia objednávky. Vlastný návrh tohto riešenia bude predstavený v nasledujúcej kapitole.

### 3 VLASTNÝ NÁVRH RIEŠENIA

Ako už bolo spomenuté v kapitole 2.6 *Hodnotenie objednávky*, pre firmu by bolo výhodné, keby mala k dispozícii systém na podporu rozhodovania sa. Tento systém by mohol v prípade potreby využívať každý zamestnanec spoločnosti bez ohľadu na jeho zameranie alebo pracovnú pozíciu. Systém na podporu rozhodovania sa zameraný na prácu s prijímaním objednávok by bol zostavený na základe expertných znalostí zamestnanca pracujúceho s objednávkami a jeho vstupom by boli presné parametre charakterizujúce každú objednávku.

Táto kapitola sa venuje návrhu vlastného riešenia pre danú problematiku. Budú v nej zostavené dva samostatné systémy na podporu rozhodovania sa založené na princípoch fuzzy logiky – jeden v programe MS Excel a druhý v programovacom prostredí MATLAB za pomoci využitia Fuzzy Logix Toolbox. Oba tieto modely budú následne prispôbené a nasadené do grafického, užívateľsky prívetivejšieho a intuitívneho prostredia. Na záver budú ich výsledky porovnané.

#### 3.1 Vstupné parametre hodnotenia objednávky

Vstupné parametre pre hodnotenie jednotlivých objednávok sú určené na základe kritérií, ktoré sú prehodnocované zamestnancom pri prijímaní objednávky. Tieto kritériá už boli vymenované a bližšie charakterizované v kapitole 2.6.1. *Kritériá pre hodnotenie objednávky*. Vstupnými parametrami pre hodnotenie objednávky teda sú:

- odberateľ,
- dátum plnenia objednávky,
- počet kusov v objednávke,
- spôsob dovozu,
- výrobná cena jedného dielu,
- materiál,
- povrchová úprava dielov,

- počet upnutí pri výrobe,
- a výrobný čas jedného dielu.

V nasledujúcich podkapitolách sú charakterizované jednotlivé parametre z hľadiska hodnôt, ktoré môžu nadobúdať.

### 3.1.1 Odberateľ

Vybraná spoločnosť má s najväčšími odberateľmi uzatvorené rámcové zmluvy na ročné obdobie. Medzi týchto odberateľov patrí MEOPTA OPTIKA s.r.o., EXERION PRECISION TECHNOLOGY s.r.o. a MEOMED s.r.o. Vzhľadom na to, že spoločnosť si zakladá na dobrých vzťahoch so svojimi odberateľmi, ktoré sa snaží neustále udržiavať a zlepšovať, pri výbere objednávky sú uprednostňovaní pred úplne novými cudzími zákazníkmi. Z toho dôvodu majú aj spoločnosti ako ZVS IMPEX a.s. a LB TRADING s.r.o. väčšiu prioritu pri prijímaní objednávok.

| Odoberateľ |    |
|------------|----|
| MEOPTA     | 15 |
| EXERION    | 15 |
| MEOMED     | 10 |
| ZVS IMPEX  | 5  |
| LB TRADING | 5  |
| OSTATNÍ    | 0  |

*Tabuľka 7: Odberateľ [Zdroj: Vlastné spracovanie]*

### 3.1.2 Dátum plnenia

Dátum plnenia objednávky je časové obdobie, za ktoré by spoločnosť mala objednávku spracovať, určené podľa preferencií odberateľa. Je dôležité vyhodnotiť, či je reálne do danej doby objednávku v požadovanom množstve vyrobiť a doručiť odberateľovi. Dĺžka trvania spracovania jednej objednávky je individuálna a závisí samozrejme na faktoroch ako sú počet kusov v objednávke, dĺžka ich výroby, materiál potrebný na výrobu dielov

ako aj na aktuálnej vyťaženosť ľudských zdrojov spoločnosti. Pri prijatí každej objednávky by mala byť v dátume jej plnenia zarátaná aj určitá časová rezerva pre prípad, že by nastali technické problémy či zdržania vo výrobe spôsobené nepredvídanými udalosťami. Zároveň by však dátum plnenia objednávky nemal byť príliš vzdialený od dátumu jej prijatia, pretože v tom prípade sa môžu vyskytnúť problémy so skladovaním hotových kusov a v konečnom dôsledku aj zvýšenými nákladmi. V priemere je teda ideálny dátum plnenia objednávky v rozmedzí 5 až 6 týždňov.

| Dátum plnenia    |    |
|------------------|----|
| do 8 týždňov     | 5  |
| do 7 týždňov     | 5  |
| do 6 týždňov     | 10 |
| do 5 týždňov     | 10 |
| do 4 týždňov     | 5  |
| do 3 týždňov     | 5  |
| do 2 týždňov     | 5  |
| 1 týždeň a menej | 0  |

*Tabuľka 8: Dátum plnenia objednávky [Zdroj: Vlastné spracovanie]*

### 3.1.3 Počet kusov

Vzhľadom na sériovú výrobu podľa výkresovej dokumentácie je pre spoločnosť výhodnejšie vyrábať kusy v čo najväčšom počte. Z toho dôvodu sú rozmedzia pre počet kusov v objednávke ohodnotené od najmenej hodnoty po najväčšiu.

| Počet kusov |    |
|-------------|----|
| 1-50        | 5  |
| 51-100      | 5  |
| 101-300     | 10 |
| 301-500     | 10 |
| 501-1000    | 15 |
| 1001-2000   | 15 |
| 2001 a viac | 20 |

*Tabuľka 9: Počet kusov objednávky [Zdroj: Vlastné spracovanie]*

### 3.1.4 Spôsob dovozu

Dovoz hotovej objednávky je zabezpečovaný buď vlastnou dopravou odberateľov alebo prepravnými spoločnosťami, kuriérskou službou, prípadne poštou (pri menej rozmernej produkcii). V prípade dopravy prepravnými spoločnosťami je povinnosťou spoločnosti zabezpečiť túto dopravu, čo predstavuje ďalšie výdavky. Z tohto dôvodu je pre spoločnosť oveľa výhodnejšie keď odberatelia využívajú vlastnú dopravu.

| Dovoz            |    |
|------------------|----|
| vlastný          | 15 |
| nutný zabezpečiť | 0  |

Tabuľka 10: Dovoz objednávky [Zdroj: Vlastné spracovanie]

### 3.1.5 Výrobná cena/dielec

Stanoviť výrobné ceny tak aby boli čo najnižšie a zároveň aby bol proces výroby vykonávaný čo najkvalitnejšie a to z čo najkvalitnejších dostupných materiálov je podstatnou súčasťou fungovania spoločnosti. Vzhľadom na to, že existuje priama úmera medzi cenou za jeden diel a časom potrebným na jeho výrobu či cenou materiálu, je rýchlejšie a teda výhodnejšie vyrábať lacnejšie diely. Tak isto je častým javom, že drahšie kusy sú objednávané odberateľmi v menších počtoch, čo tiež z časti zapríčiňuje ich nižšie ohodnotenie.

| Výrob. cena/dielec |    |
|--------------------|----|
| do 2 eur           | 10 |
| 2,01-4 eura        | 10 |
| 4,01-8 eur         | 10 |
| 8,01-15 eur        | 10 |
| 15,01-25 eur       | 5  |
| 25,01-35 eur       | 5  |
| 35,01-60 eur       | 5  |
| 60,01 a viac       | 5  |

Tabuľka 11: Výrobná cena/dielec [Zdroj: Vlastné spracovanie]

### 3.1.6 Materiál

Ohodnotenie jednotlivých materiálov používaných na výrobu dielov je odvodené od ceny daného materiálu ako aj od časovej či technickej náročnosti jeho opracovania.

| Materiál   |    |
|------------|----|
| EN AW 2017 | 15 |
| EN AW 5083 | 15 |
| EN AW 6061 | 15 |
| EN AW 6082 | 15 |
| AlMgSi1    | 10 |
| SAE1045    | 10 |
| AISI 303   | 5  |
| AISI 304L  | 5  |

Tabuľka 12: Materiál [Zdroj: Vlastné spracovanie]

### 3.1.7 Povrchová úprava

Prípadná potrebná povrchový úprava niektorých vyrábaných dielov zvyšuje náklady na materiál ako aj čas výroby, rovnako ako aj konečnú výrobnú cenu dielu. Z toho dôvodu je možnosť žiadnej povrchovej úpravy ohodnotená najväčším číslom.

| Povrchová úprava |    |
|------------------|----|
| žiadna           | 15 |
| NICKEL 5-7mic    | 5  |
| tvrdý elox       | 5  |

Tabuľka 13: Povrchová úprava dielov [Zdroj: Vlastné spracovanie]

### 3.1.8 Počet upnutí

Ako už bolo spomenuté predtým, jedno upnutie označuje zmenu nastavenia výrobného stroja alebo jeho úplnú výmenu za iný výrobný stroj. Upnutia sú vykonávané operátormi



výroby a medzi jednotlivými upnutiami dochádza ku časovému oneskoreniu. To je dôvod, prečo sú počty upnutí ohodnotené od najväčšej hodnoty po najmenšiu.

| Počet upnutí |    |
|--------------|----|
| jedno        | 15 |
| dve          | 15 |
| tri          | 15 |
| štyri        | 10 |
| päť          | 10 |
| šesť         | 5  |
| sedem        | 5  |
| osem a viac  | 0  |

Tabuľka 14: Počet upnutí dielu [Zdroj: Vlastné spracovanie]

### 3.1.9 Výrobný čas/dielec

Výrobný čas predstavuje dĺžku výroby jedného dielu v minútach. Prirodzene je pri sériovej výrobe kratší výrobný čas jedného dielu výhodnejší a teda jednotlivé časové rozmedzia sú opäť ohodnotené zostupne od najväčšieho po najmenšie.

| Výrob. čas/dielec |    |
|-------------------|----|
| do 30 minút       | 20 |
| 31-50 minút       | 15 |
| 51-70 minút       | 15 |
| 71-90 minút       | 10 |
| 91-120 minút      | 10 |
| 121-150 minút     | 5  |
| 151-180 minút     | 5  |
| 181 minút a viac  | 5  |

Tabuľka 15: Výrobný čas/dielec [Zdroj: Vlastné spracovanie]

## 3.2 Výstupné parametre hodnotenia objednávky

Po určení a presnom ohodnotení vstupných parametrov potrebných na zostavenie fuzzy modelu je potrebné určiť i výstupné parametre hodnotenia objednávky – teda premenné,

ktoré budú interpretovať vypočítaný výsledok. Výsledok môže nadobúdať tri hodnoty, ktoré sú určené presnými číselnými rozmedziami v percentách, pričom percentá reprezentujú zhodu parametrov objednávky s ideálnymi parametrami objednávky z pohľadu spoločnosti:

- 0% – 33%,
- 34% – 66%,
- 67% – 100%.

Vzhľadom na to, že fuzzy model pracuje so slovnými premennými, je potrebné určiť slovnú reprezentáciu vyššie uvedených číselných rozmedzí v percentách:

- objednávku odmietnuť,
- objednávku prehodnotiť,
- objednávku prijať.

Výsledná hodnota *objednávku odmietnuť* je príslušná rozmedziu od 0% do 33%, kedy parametre objednávky nemajú dostatočnú zhodu s preferenciami spoločnosti a teda systém vyhodnocuje, že objednávka pre spoločnosť nie je výhodná a nemala by ju vôbec prijímať.

Hodnota *objednávku prijať*, ktorej zodpovedá rozmedzie 67% až 100%, je naopak výsledok, ktorý reprezentuje dostatočne veľkú zhodu parametrov objednávky s preferenciami spoločnosti.

Posledná hodnota, ktorú môže fuzzy model vyhodnotiť za výslednú je *objednávku prehodnotiť*. Táto hodnota je príslušná percentuálnemu rozmedziu 34% – 66% a z hľadiska zhody s preferenciami spoločnosti predstavuje stred medzi nevyhovujúcou a vyhovujúcou objednávkou. Tieto objednávky môžu byť prijaté alebo odmietnuté na základe hlbšej analýzy časových, nákladových a ľudských zdrojov spoločnosti – napríklad v prípade včasnejšieho splnenia inej objednávky vznikne spoločnosti priestor prijať i objednávku, ktorá nie je v absolútnej zhode s preferenciami, za účelom vyššieho výnosu a efektívneho čerpania dostupných zdrojov. Naopak, v prípade neočakávanej nepriaznivej situácie, ktorá spôsobí oneskorenie spracovania už prijatých objednávok, spoločnosť určite nebude mať priestor spracovávať ďalšie objednávky, a teda objednávku s nie úplne vyhovujúcim hodnotením zamietne.

### 3.3 Fuzzy model v programe MS Excel

Ako už bolo popísané v teoretickej časti diplomovej práce, program MS Excel je obsahom balíka Microsoft Office a je najpoužívanejším softvérom pre prácu s tabuľkami. Prvý systém na podporu rozhodovania je zostavený v tomto programe, pričom excelovský súbor s názvom *objednavky.xlsm* obsahuje dva listy:

- MODEL
- GUI.

#### 3.3.1 List MODEL

Kapitola 1.5.1 *Fuzzy model v programe MS Excel* v teoretickej časti práce sa venovala popisu fuzzy modelu zostaveného pomocou programu MS Excel. Podľa tohto teoretického východiska bol zostavený i model na podporu rozhodovania sa ohľadom práce s objednávkami vo vybranej spoločnosti. Model teda obsahuje tri matice – transformačnú, stavovú a retransformačnú a jednu pridanú výstupnú maticu, ktorá reprezentuje výsledok skalárneho súčinu, percentuálnu zhodu s preferenciami spoločnosti a výsledok fuzzy modelu v slovnej forme.

Transformačná matica má dve podoby – slovnú a číselne ohodnotenú. Slovný popis transformačnej matice obsahuje slovné premenné, inými slovami parametre, ktoré môže objednávka nadobúdať.

| Transformačná matica - slovný popis |            |                  |             |                  |                    |            |                  |              |
|-------------------------------------|------------|------------------|-------------|------------------|--------------------|------------|------------------|--------------|
|                                     | 1.         | 2.               | 3.          | 4.               | 5.                 | 6.         | 7.               | 8.           |
|                                     | Odoberateľ | Dátum plnenia    | Počet kusov | Dovoz            | Výrob. cena/dielec | Materiál   | Povrchová úprava | Počet upnutí |
| 1                                   | MEOPTA     | do 8 týždňov     | 1-50        | vlastný          | do 2 eur           | EN AW 2017 | žiadna           | jedno        |
| 2                                   | EXERION    | do 7 týždňov     | 51-100      | nutný zabezpečiť | 2,01-4 eura        | EN AW 5083 | NICKEL 5-7mic    | dve          |
| 3                                   | MEOMED     | do 6 týždňov     | 101-300     |                  | 4,01-8 eur         | EN AW 6061 | tvrdý elox       | tri          |
| 4                                   | ZVS IMPEX  | do 5 týždňov     | 301-500     |                  | 8,01-15 eur        | EN AW 6082 |                  | štyri        |
| 5                                   | LB TRADING | do 4 týždňov     | 501-1000    |                  | 15,01-25 eur       | AlMgSi1    |                  | päť          |
| 6                                   | OSTATNÍ    | do 3 týždňov     | 1001-2000   |                  | 25,01-35 eur       | SAE1045    |                  | šesť         |
| 7                                   |            | do 2 týždňov     | 2001 a viac |                  | 35,01-60 eur       | AISI 303   |                  | sedem        |
| 8                                   |            | 1 týždeň a menej |             |                  | 60,01 a viac       | AISI 304L  |                  | osem a viac  |

Tabuľka 16: Transformačná matica - slovné ohodnotená [Zdroj: Vlastné spracovanie]

Číselne ohodnotená transformačná matica obsahuje číselné hodnoty priradené jednotlivým slovným premenným zo slovne ohodnotenej transformačnej matice, ktoré boli určené na základe preferencií spoločnosti na jednotlivé kritériá definujúce objednávku od odberateľa.

| Transformačná matica - číselne ohodnotená |            |               |             |       |                    |          |                  |                   |
|---|------------|---------------|-------------|-------|--------------------|----------|------------------|-------------------|
|   | 1.         | 2.            | 3.          | 4.    | 5.                 | 6.       | 7.               | 8.                |
|   | Odoberateľ | Dátum plnenia | Počet kusov | Dovoz | Výrob. cena/dielec | Materiál | Povrchová úprava | Počet upnutí      |
| 9.  |            |               |             |       |                    |          |                  | Výrob. čas/dielec |
| 1   | 15         | 5             | 5           | 15    | 10                 | 15       | 15               | 20                |
| 2   | 15         | 5             | 5           | 0     | 10                 | 15       | 5                | 15                |
| 3   | 10         | 10            | 10          |       | 10                 | 15       | 5                | 15                |
| 4   | 5          | 10            | 10          |       | 10                 | 15       |                  | 10                |
| 5   | 5          | 5             | 15          |       | 5                  | 10       |                  | 10                |
| 6   | 0          | 5             | 15          |       | 5                  | 10       |                  | 5                 |
| 7   |            | 5             | 20          |       | 5                  | 5        |                  | 5                 |
| 8   |            | 0             |             |       | 5                  | 5        |                  | 0                 |

Tabuľka 17: Transformačná matica - číselne ohodnotená [Zdroj: Vlastné spracovanie]

Následne bola zostavená stavová matica, ktorá obsahuje parametre konkrétnej objednávky použitej ako príklad pre spracovanie. Parametre tejto objednávky sú:

- Objednávka číslo 061020201: 60 kusov súčiastky "HR507\_101248J FORREAU AXE PRINCIPAL" – vyrobenej z hliníkovej zliatiny EN AW 2017, odberateľ: EXERION PRECISION TECHNOLOGY (Olomouc), súčiastka v zubnom röntgenovom prístroji, výrobná cena: 39,98€/ks, počet upnutí: 3, výrobný čas: 88 minút, dátum plnenia: do 2 týždňov, spôsob dopravy: vlastná.

Stavová matica okrem údajov o konkrétnej objednávke obsahuje ešte riadok *kontrola*, ktorý pomocou súčinu zadaných hodnôt v stavovej matici overuje, že každé kritérium je zvolené práve jedenkrát a teda žiadny údaj o objednávke nie je zduplikovaný či prípadne nevyplnený. Funkcia kontroly je zabezpečená pomocou výpočtu:

- =IF(AND(C67\*D67\*E67\*F67\*G67\*H67\*I67\*J67\*K67=1);"OK";"CHYBA").

| Stavová (vstupná) matica - objednávka č. 061020201 |            |               |             |       |                    |          |                  |                   |
|--|------------|---------------|-------------|-------|--------------------|----------|------------------|-------------------|
|  | 1.         | 2.            | 3.          | 4.    | 5.                 | 6.       | 7.               | 8.                |
|  | Odoberateľ | Dátum plnenia | Počet kusov | Dovoz | Výrob. cena/dielec | Materiál | Povrchová úprava | Počet upnutí      |
| 9.   |            |               |             |       |                    |          |                  | Výrob. čas/dielec |
| 1  | 0          | 0             | 0           | 1     | 0                  | 1        | 1                | 0                 |
| 2  | 1          | 0             | 1           | 0     | 0                  | 0        | 0                | 0                 |
| 3  | 0          | 0             | 0           | 0     | 0                  | 0        | 0                | 1                 |
| 4  | 0          | 0             | 0           | 0     | 0                  | 0        | 0                | 0                 |
| 5  | 0          | 0             | 0           | 0     | 0                  | 0        | 0                | 0                 |
| 6  | 0          | 0             | 0           | 0     | 0                  | 0        | 0                | 0                 |
| 7  | 0          | 1             | 0           | 0     | 1                  | 0        | 0                | 0                 |
| 8  | 0          | 0             | 0           | 0     | 0                  | 0        | 0                | 0                 |
| Kontrola   | 1          | 1             | 1           | 1     | 1                  | 1        | 1                | 1                 |
|  | OK         |               |             |       |                    |          |                  |                   |

Tabuľka 18: Stavová matica [Zdroj: Vlastné spracovanie]

Retransformačná matica popisuje výsledné parametre hodnotenia objednávky – výsledok, aký môže fuzzy model nadobudnúť. Ku slovným premenným sú priradené tak isto číselné rozmedzia zhody objednávky s preferenciami spoločnosti, ktoré predstavujú ich číselné hodnoty vyjadrené v percentách.

| Retransformačná matica |          |                    |
|------------------------|----------|--------------------|
|                        | Body v % | Objednávku:        |
| 1                      | 0-33     | <b>Odmietnuť</b>   |
| 2                      | 34-66    | <b>Prehodnotiť</b> |
| 3                      | 67-100   | <b>Prijať</b>      |

Tabuľka 19: Retransformačná matica [Zdroj: Vlastné spracovanie]

Výsledok hodnotenia objednávky č. 061020201, ktorá bola použitá ako príklad pre overenie funkčnosti modelu, je teda sformulovaný do štvrtej výstupnej matice, ktorá má nasledovnú podobu:

| Výstupná matica |               |
|-----------------|---------------|
| Skalárny súčin: | 100           |
| Percento:       | 68,2          |
| Výsledok:       | <b>Prijať</b> |

Tabuľka 20: Výstupná matica [Zdroj: Vlastné spracovanie]

Jednotlivé hodnoty boli získané pomocou funkcií:

- skalárny súčin: =SUMPRODUCT(C17:K24;C58:K65),
- percento: =((C71-G45)/(G44-G45)\*100),
- výsledok: =IF(C72<=33;"Odmietnuť";IF(C72<=66;"Prehodnotiť";"Prijať")).

Je nutné dodať, že percentuálna reprezentácia zhody s preferenciami spoločnosti bola počítaná pomocou hodnôt súčtu maximálnych a minimálnych hodnôt jednotlivých kritérií v číselne ohodnotenej transformačnej matici:

| Transformačná matica - číselne ohodnotená |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| MAX                                       | 15 | 10 | 20 | 15 | 10 | 15 | 15 | 15 | 20 |
| MIN                                       | 0  | 0  | 5  | 0  | 5  | 5  | 5  | 0  | 5  |

Tabuľka 21: Maximum a minimum číselne ohodnotenej transformačnej matice [Zdroj: Vlastné spracovanie]

|          |     |
|----------|-----|
| Suma MAX | 135 |
| Suma MIN | 25  |

Tabuľka 22: Suma minima a maxima [Zdroj: Vlastné spracovanie]

### 3.3.2 List GUI

List GUI obsahuje fuzzy model na podporu rozhodovania sa spracovaný v programe MS Excel zasadený do užívateľsky jednoduchšieho a intuitívneho grafického rozhrania, ktoré umožní prácu s ním i užívateľovi, ktorému nie je práca s Excelom blízka.

| Hodnotenie objednávky firmy: |                      |                     |
|------------------------------|----------------------|---------------------|
| Odoberateľ:                  | Dátum plnenia:       | Počet kusov:        |
| MEOPTA ▼                     | do 8 týždňov ▼       | 1-50 ▼              |
| Dovoz:                       | Výrobná cena/dielec: | Materiál:           |
| vlastný ▼                    | do 2 eur ▼           | EN AW 2017 ▼        |
| Povrchová úprava:            | Počet upnutí:        | Výrobný čas/dielec: |
| žiadna ▼                     | jedno ▼              | do 30 minút ▼       |
| Skalárny súčin:              | 0                    | Vypočítať           |
| Percento:                    | 0,0                  | Vynulovať           |
| Zadajte parametre objednávky |                      |                     |

Obrázok 21: Fuzzy model v GUI [Zdroj: Vlastné spracovanie]

Na zasadenie modelu do GUI boli využité makrá. Princíp pracovania modelu v GUI je rovnaký ako pri fuzzy modeli na prvom liste – hodnoty zadane do formuláru spracovaného pomocou makier sa ukladajú do stavovej matice a následne je pomocou skalárneho súčinu a prepočtu na percentá určená veľkosť zhody konkrétnej zadanej objednávky s preferenciami spoločnosti. Spomínané makrá boli využité na ovládanie dvoch tlačidiel – *vypočítať* a *vynulovať*. Práve tie slúžia na ovládanie modelu a zjednodušujú prácu užívateľovi, ktorý nemusí ručne zadávať hodnoty do stavovej rovnice, čo by bolo časovo náročné a pri danom počte hodnotiacich kritérií by to navyše predstavovalo aj oveľa väčšie riziko zadania chybných informácií. Tlačidlo *vypočítať* teda slúži na vyhodnotenie v prípade, že užívateľ zadal všetky potrebné informácie týkajúce sa objednávky. Tlačidlo *vynulovať* naopak slúži na vynulovanie vypočítaných hodnôt v prípade, že chce užívateľ do modelu zadať novú objednávku s odlišnými parametrami. Výsledok výpočtu fuzzy modelu na podporu rozhodovania sa spracovaného v programe MS Excel zasadeného do GUI je opäť zobrazený všetkými tromi spôsobmi – skalárnym súčinom, percentom a slovnou premennou.

| Hodnotenie objednávky firmy: |                      |                     |
|------------------------------|----------------------|---------------------|
| Odoberateľ:                  | Dátum plnenia:       | Počet kusov:        |
| MEOPTA ▼                     | do 8 týždňov ▼       | 1-50 ▼              |
| Dovoz:                       | Výrobná cena/dielec: | Materiál:           |
| vlastný ▼                    | do 2 eur ▼           | EN AW 2017 ▼        |
| Povrchová úprava:            | Počet upnutí:        | Výrobný čas/dielec: |
| žiadna ▼                     | jedno ▼              | do 30 minút ▼       |
| Skalárny súčin:              | 115                  | Vypočítať           |
| Percento:                    | 81,8                 | Vynulovať           |
| Výsledok: Objednávku prijať  |                      |                     |

Obrázok 22: Vyplnený fuzzy model v GUI [Zdroj: Vlastné spracovanie]

### 3.4 Fuzzy model v programovacom prostredí MATLAB

Podobne ako pri fuzzy modeli vytvorenom v programe MS Excel, aj pri vytváraní fuzzy modelu na podporu rozhodovania sa v programovacom prostredí MATLAB bol použitý postup tvorenia modelu popísaný v teoretickej časti práce, v kapitole 1.5.3. *Fuzzy model v programovacom prostredí MATLAB*. Tento model obsahuje:

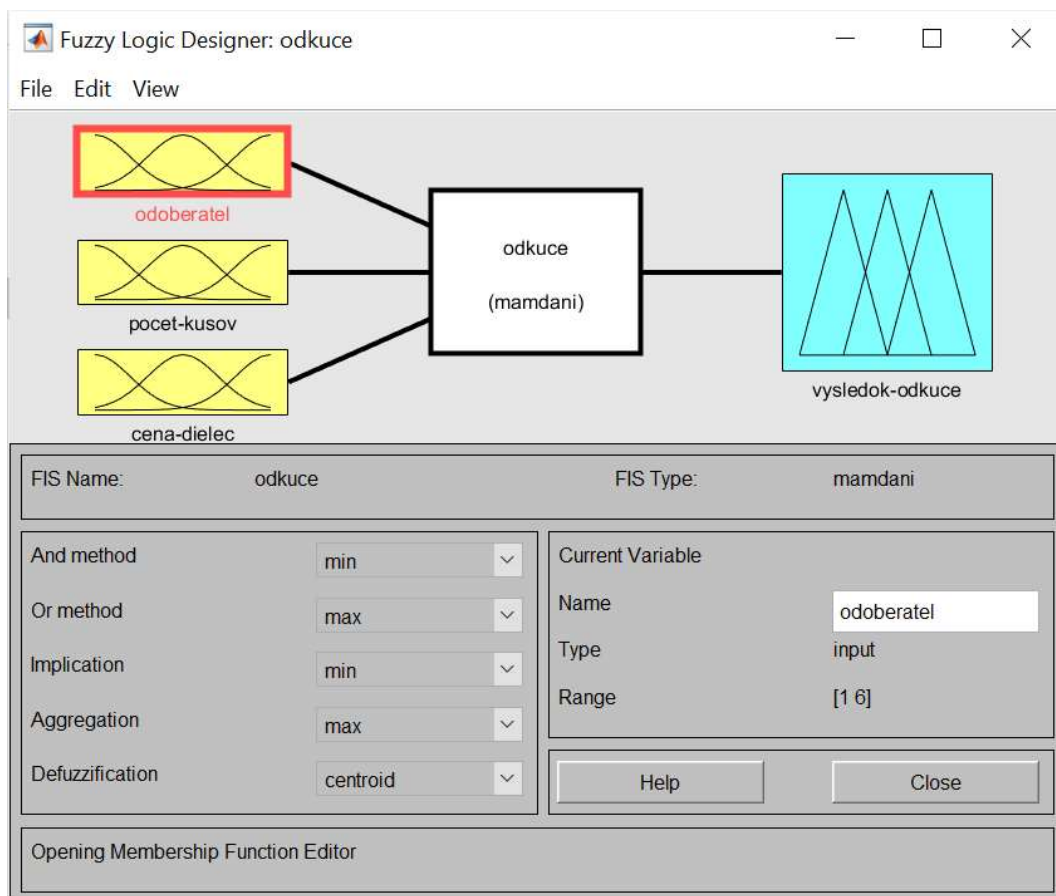
- 4 krát .fis súbor: *odkuce.fis*, *upupca.fis*, *dadoma.fis*, *objednavky.fis*,
- 2 krát .m súbor: *objednavky\_m.m*, *formular.m*,
- 1 krát .fig súbor: *formular.fig*.

Vzhľadom na väčší počet vstupných premenných, bolo potrebné ošetriť spôsob vytvárania pravidiel vo .fis súbore. Keďže vstupných kritérií pre hodnotenie objednávky je deväť, pričom každé z nich môže nadobúdať viacero hodnôt kde minimum sú dve a maximum je osem rôznych hodnôt, bolo nutné fuzzy systém rozdeliť do viacerých podsystémov. Rozdelenie bolo realizované takým spôsobom, aby v každom podsystéme bolo približne rovnako veľa možných kombinácií pri vytváraní pravidiel – kritériá s užšou škálou možností boli nakombinované s tými, ktoré mali možností najviac a podobne. V nasledujúcich podkapitolách budú popísané jednotlivé podsystémy fuzzy modelu spracovaného v programovacom prostredí MATLAB za pomoci využitia Fuzzy Logic Toolbox.

#### 3.4.1 Podsystém odberateľ – kusy – cena

Prvý podsystém bol vytvorený pre kritériá odberateľ, počet kusov v objednávke a výrobná cena jedného dielu, pričom kritérium odberateľa môže nadobúdať šesť rôznych hodnôt, kritérium počtu kusov môže nadobúdať sedem rôznych hodnôt a kritérium výrobné ceny za diel môže nadobúdať až osem rôznych hodnôt. To znamená, že pri zostavovaní pravidiel existuje pre tento podsystém 336 rôznych kombinácií.

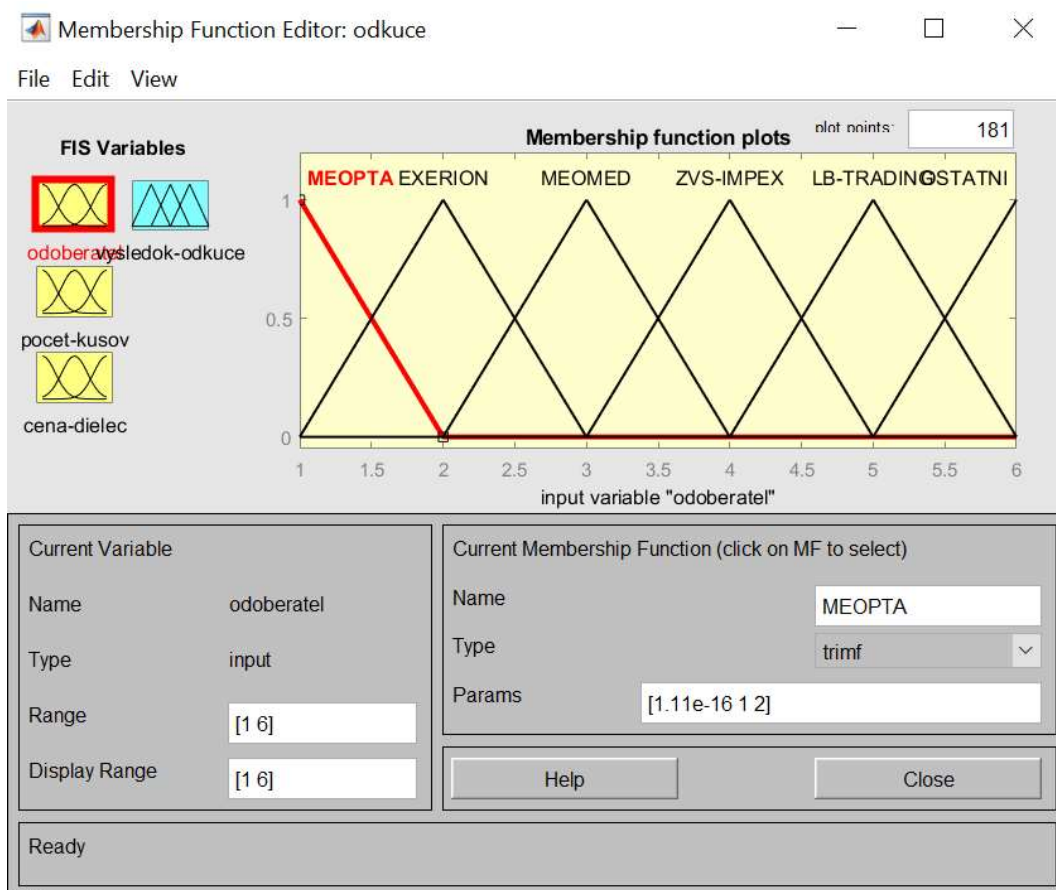




Obrázok 23: Podsystem odberatel' - kusy - cena [Zdroj: Vlastné spracovanie]

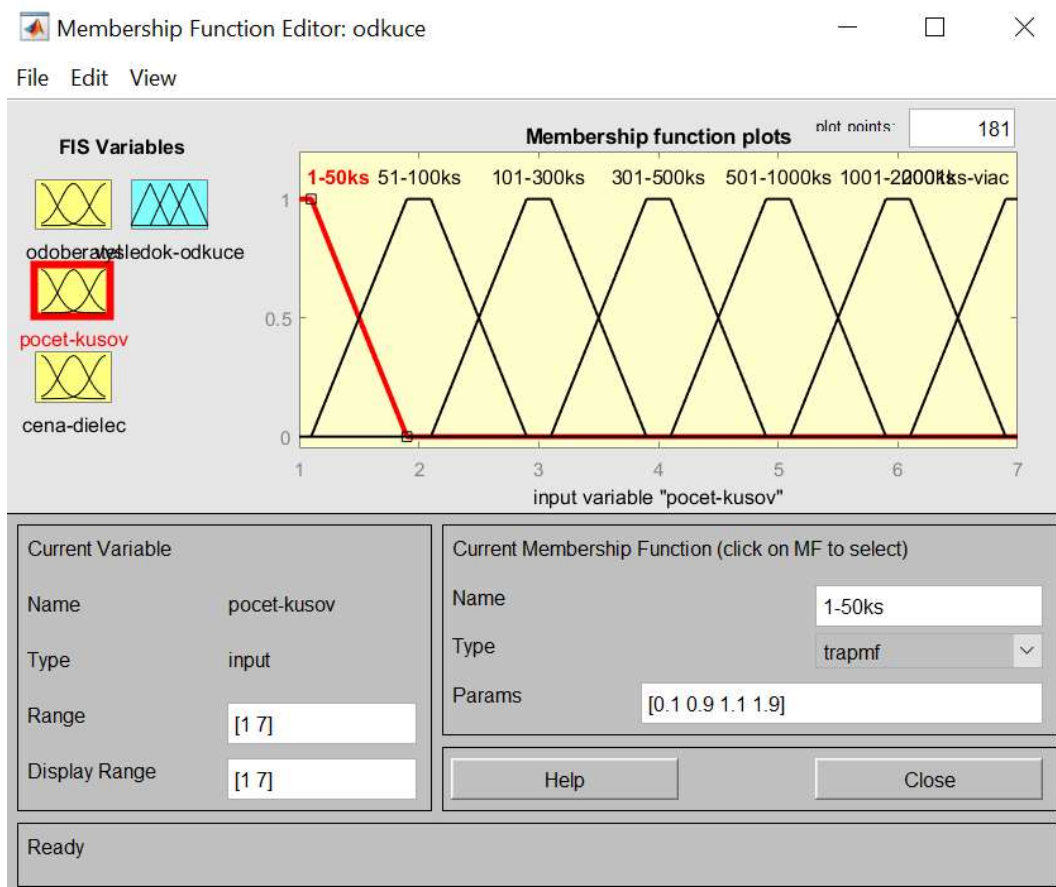
Typ modelu pre daný podsystem je *mamdani* a obsahuje teda tri vstupné (*odoberatel*, *pocet-kusov*, *cena-dielec*) a jednu výstupnú (*vysledok-odkuce*) premennú.

V prvom kroku boli vo *odkuce.fis* súbore upravené vstupné a výstupné premenné. Prvá premenná – *odberatel* má rozmedzie hodnôt, ktoré môže nadobúdať 1 – 6 a typ členských funkcií je *trimf*, ako je možné pozorovať na Obrázok 24.



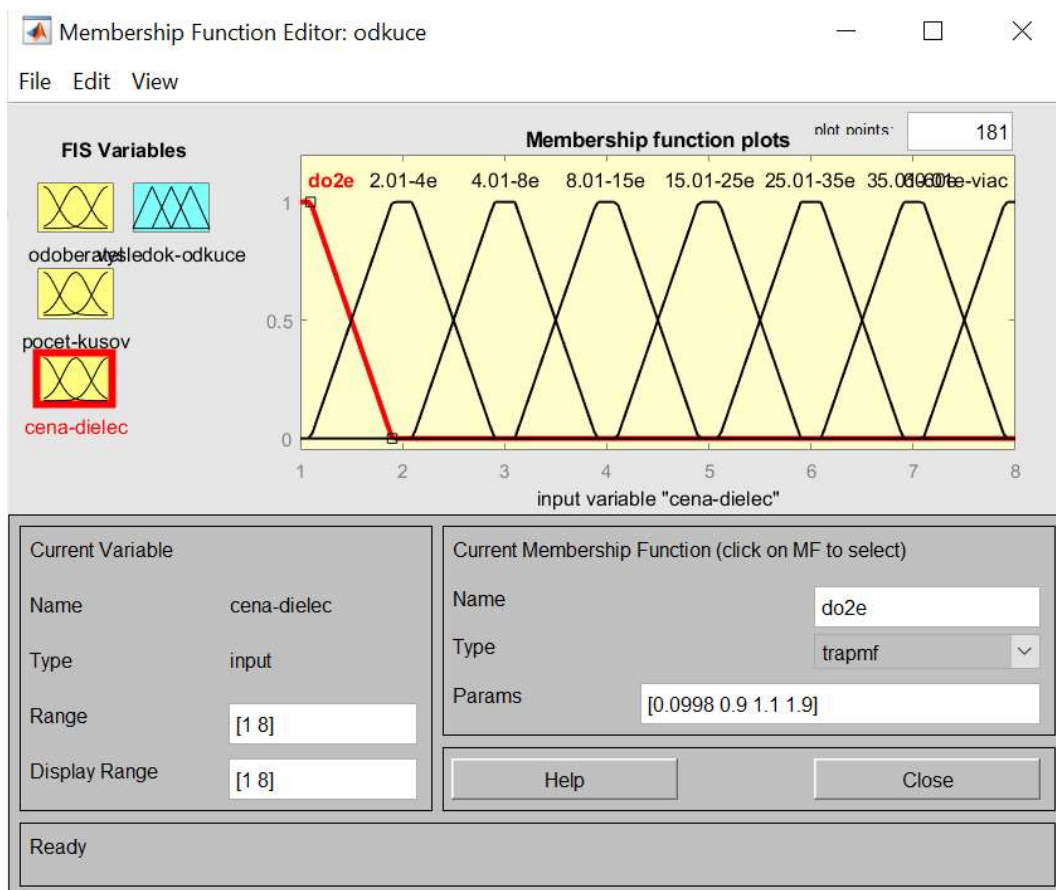
Obrázok 24: Premenná odoberatel' [Zdroj: Vlastné spracovanie]

Ďalšia je vstupná premenná *pocet-kusov*, ktorá zastupuje kritérium počtu kusov v objednávke, a táto premenná môže nadobúdať hodnoty v rozmedzí 1 – 7. Typ členských funkcií pre danú vstupnú premennú je *trapmf*, keďže predstavuje rozmedzia, v ktorých sa počty kusov v objednávke môžu pohybovať.



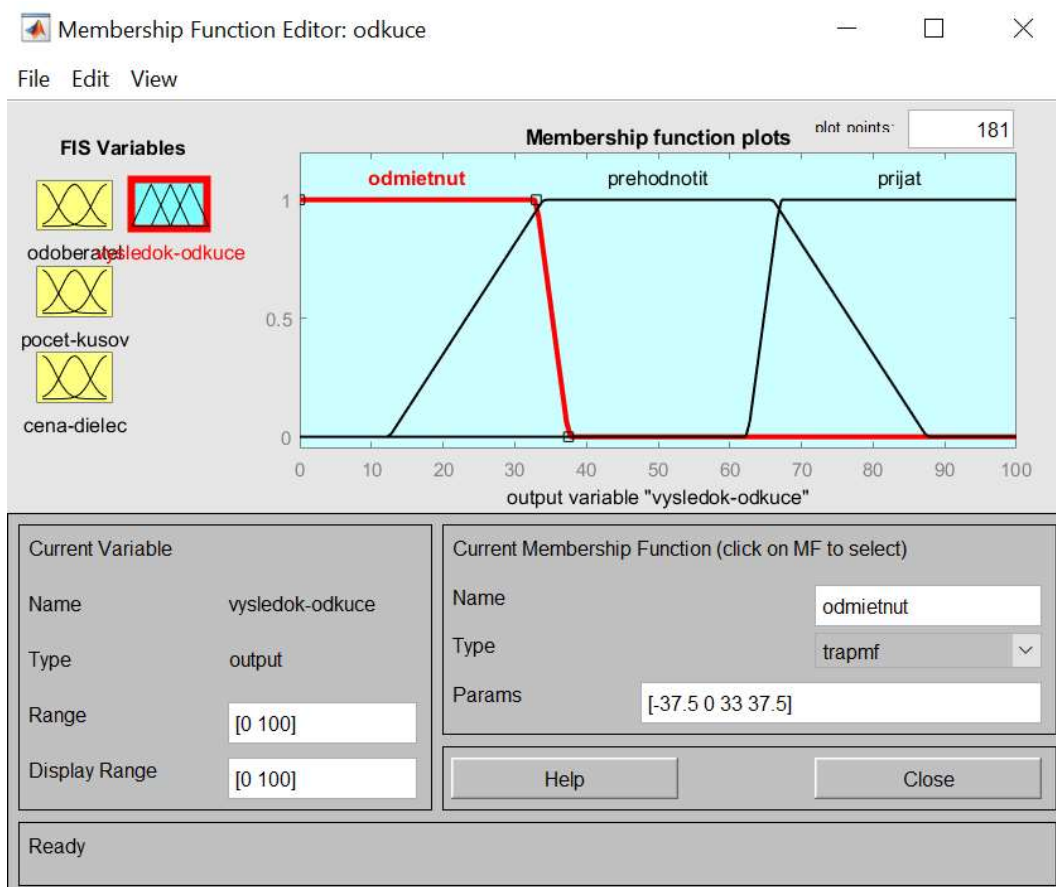
Obrázok 25: Premenná počet kusov [Zdroj: Vlastné spracovanie]

Tretia vstupná premenná pre daný podsystem je premenná *cena-dielec*, ktorá predstavuje kritérium výrobnéj ceny za jeden diel. Táto premenná môže nadobúdať hodnoty 1 – 8 a typ jej členských funkcií je opäť *trapmf*, keďže opäť ide o cenové rozmedzia, do ktorých tento parameter objednávky môže patriť.



Obrázok 26: Premenná výrobná cena/dielec [Zdroj: Vlastné spracovanie]

Ako posledná bola upravená výstupná premenná *vysledok-odkuce*, ktorá môže nadobúdať 3 hodnoty. Rozmedzie tejto premennej je 1 – 100, pričom hodnoty predstavujú zhodu troch vstupných premenných s preferenciami spoločnosti. Členské funkcie výstupnej premennej sú tak isto typu *trapmf* a na rozdiel od vstupných premenných boli charakterizované aj parametre jednotlivých funkcií presne tak, aby zodpovedali hodnotám výstupných parametrov pre hodnotenie vyjadrených v percentách.



Obrázok 27: Premenná výsledok odkuce.fis súboru [Zdroj: Vlastné spracovanie]

Po nastavení vstupných a výstupnej premennej podsystemu bolo ďalším krokom vytvorenie pravidiel. Ako už bolo spomenuté predtým, pri kombinácií daných troch vstupných premenných existuje 336 rôznych pravidiel. Tieto kombinácie boli spracované pomocou pomocného excelovského súboru (Obrázok 28), za využitia výsledku skalárneho súčinu transformačnej a stavovej matice prevedeného na percentá a následne zapisované do .fis súboru otvorenom cez program Poznámkový blok (Obrázok 29).

| Transformačná matica - slovný popis |            |             |                    |
|-------------------------------------|------------|-------------|--------------------|
|                                     | 1.         | 3.          | 5.                 |
|                                     | Odoberateľ | Počet kusov | Výrob. cena/dielec |
| 1                                   | MEOPTA     | 1-50        | do 2 eur           |
| 2                                   | EXERION    | 51-100      | 2,01-4 eura        |
| 3                                   | MEOMED     | 101-300     | 4,01-8 eur         |
| 4                                   | ZVS IMPEX  | 301-500     | 8,01-15 eur        |
| 5                                   | LB TRADING | 501-1000    | 15,01-25 eur       |
| 6                                   | OSTATNÍ    | 1001-2000   | 25,01-35 eur       |
| 7                                   |            | 2001 a viac | 35,01-60 eur       |
| 8                                   |            |             | 60,01 a viac       |

| Transformačná matica - číselne ohodnotená |            |             |                    |
|---|------------|-------------|--------------------|
|   | 1.         | 3.          | 5.                 |
|   | Odoberateľ | Počet kusov | Výrob. cena/dielec |
| 1   | 15         | 5           | 10                 |
| 2   | 15         | 5           | 10                 |
| 3   | 10         | 10          | 10                 |
| 4   | 5          | 10          | 10                 |
| 5   | 5          | 15          | 5                  |
| 6   | 0          | 15          | 5                  |
| 7   |            | 20          | 5                  |
| 8   |            |             | 5                  |

| Stavová (vstupná) matica |            |             |                    |
|--------------------------|------------|-------------|--------------------|
|                          | 1.         | 3.          | 5.                 |
|                          | Odoberateľ | Počet kusov | Výrob. cena/dielec |
| 1                        | 1          | 1           | 1                  |
| 2                        | 0          | 0           | 0                  |
| 3                        | 0          | 0           | 0                  |
| 4                        | 0          | 0           | 0                  |
| 5                        | 0          | 0           | 0                  |
| 6                        | 0          | 0           | 0                  |
| 7                        |            | 0           | 0                  |
| 8                        |            |             | 0                  |

| Retransformačná matica |          |             |  |
|------------------------|----------|-------------|--|
|                        | Body v % | Objednávku: |  |
| 1                      | 0-33     | Odmietnuť   |  |
| 2                      | 34-66    | Prehodnotiť |  |
| 3                      | 67-100   | Prijať      |  |

|          |    |    |    |
|----------|----|----|----|
| max:     | 15 | 20 | 10 |
| min:     | 0  | 5  | 5  |
| sum max: | 45 |    |    |
| sum min: | 10 |    |    |

|             |       |
|-------------|-------|
| skal.súčin: | 30    |
| perento:    | 57,14 |

Obrázok 28: Pomocný excel odkuce.fis súboru [Zdroj: Vlastné spracovanie]

odkuce – Poznámkový blok

Súbor Úpravy Formát Zobrazit Pomocník

MF7='35.01-60e': 'trapmf', [6.1 6.9 7.1 7.9]  
MF8='60.01e-viac': 'trapmf', [7.1 7.9 8.098 8.903]

[Output1]  
Name='vysledok-odkuce'  
Range=[0 100]  
NumMFs=3  
MF1='odmietnut': 'trapmf', [-37.5 0 33 37.5]  
MF2='prehodnotit': 'trapmf', [12.5 34 66 87.5]  
MF3='prijat': 'trapmf', [62.5 67 100 137.5]

[Rules]  
1 1 1, 2 (1) : 1  
1 1 2, 2 (1) : 1  
1 1 3, 2 (1) : 1  
1 1 4, 2 (1) : 1  
1 1 5, 2 (1) : 1  
1 1 6, 2 (1) : 1  
1 1 7, 2 (1) : 1  
1 1 8, 2 (1) : 1  
1 2 1, 2 (1) : 1

Ln 58, Col 8

100 %

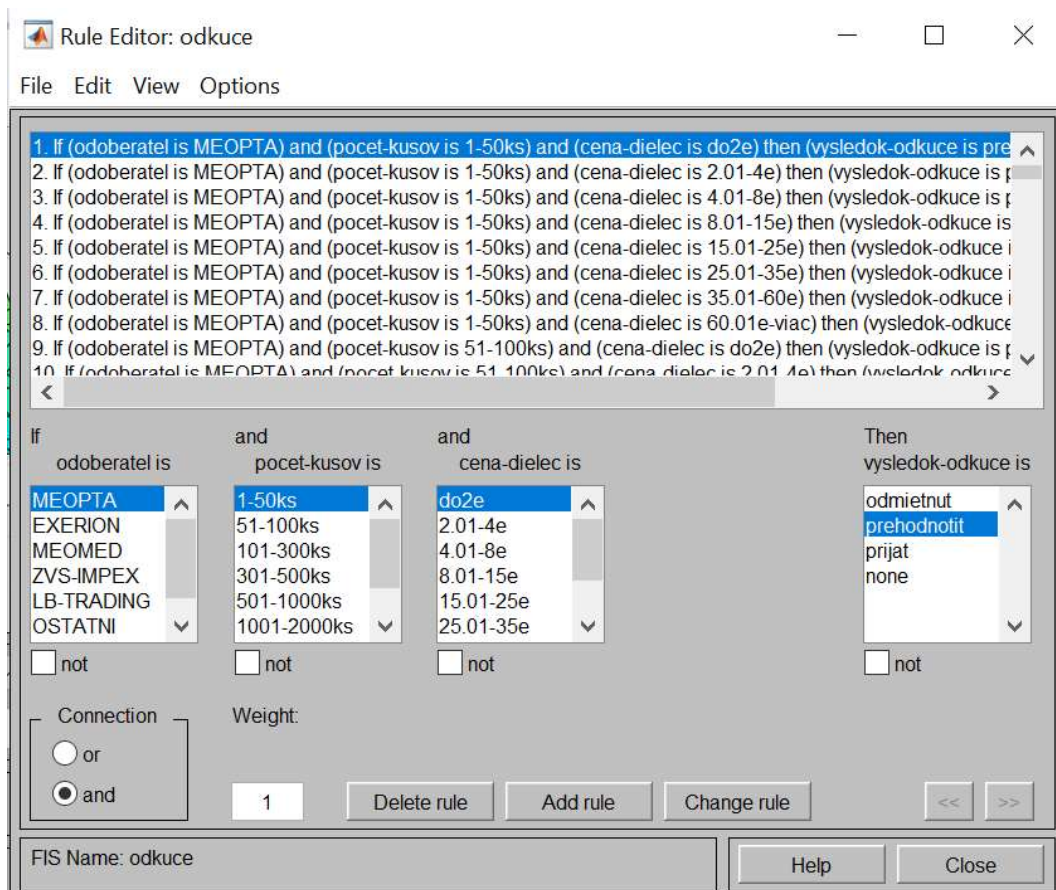
Unix (LF)

UTF-8

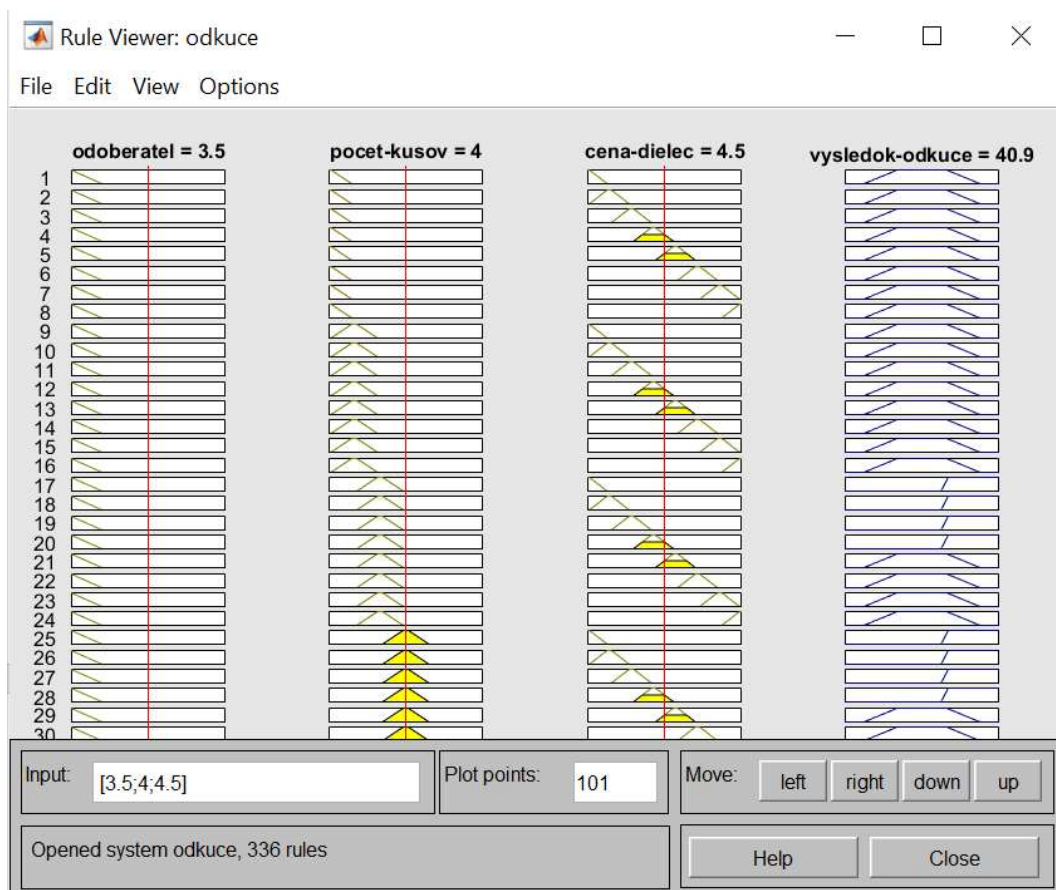
Obrázok 29: Poznámkový blok odkuce.fis súboru [Zdroj: Vlastné spracovanie]



Využitie zapisovania pravidiel pomocou Poznámkového bloku bolo pri danom počte pravidiel oveľa jednoduchšie ako zadávanie pravidiel pomocou Rule Editoru. Po uložení .fis súboru otvoreného cez program Poznámkový blok bolo možné všetky pravidlá vidieť tak isto v Rule Editore ako aj Rule Viewri:



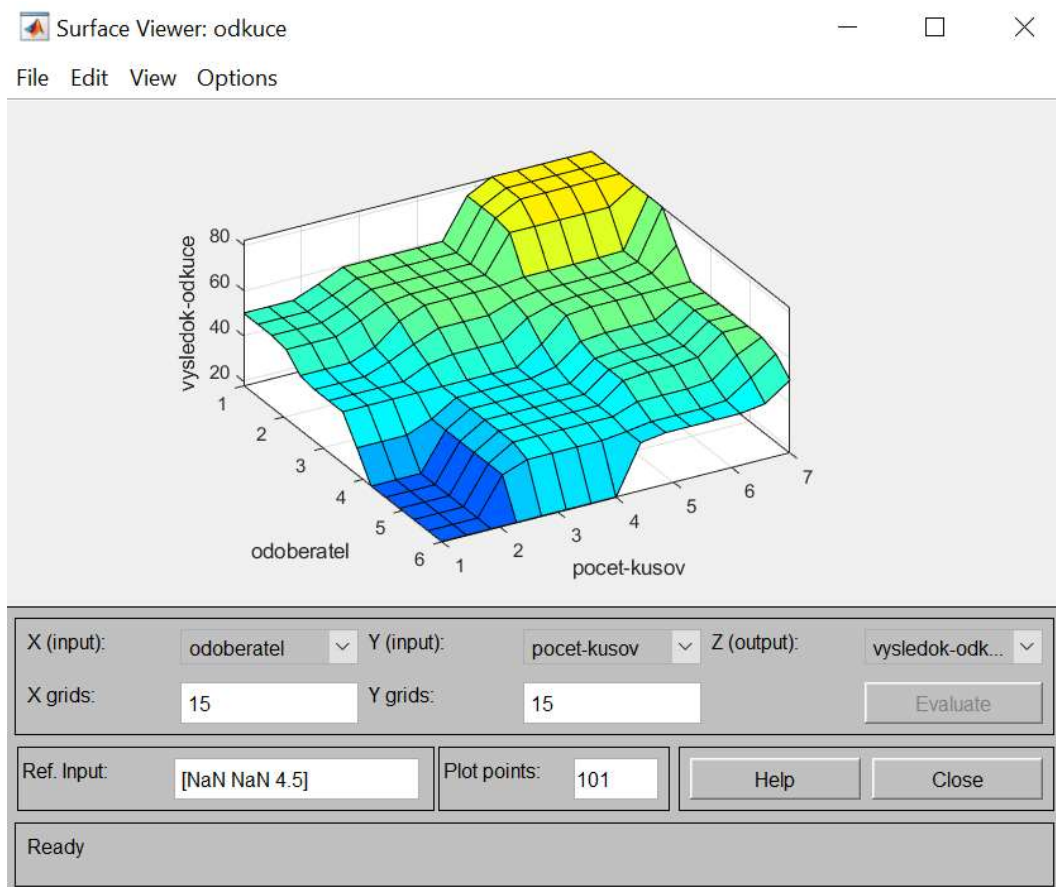
Obrázok 30: Rule Editor odkuce.fis súboru [Zdroj: Vlastné spracovanie]



Obrázok 31: Rule Viewer odkuce.fis súboru [Zdroj: Vlastné spracovanie]

Nakoniec bolo potrebné overiť, či vytvorené pravidlá boli zapísané správne a či naozaj zodpovedajú realite. Na to bol použitý Surface Viewer, ktorého výslednú podobu pre daný podsystem je možné pozorovať nižšie (Obrázok 32). Ako bolo spomenuté v teoretickej časti práce, Surface Viewer zobrazuje trojrozmerný model, ktorý popisuje závislosti premenných a vytvorených pravidiel, a preto je potrebné, aby pokrýval všetky vrstvy trojrozmerného modelu.



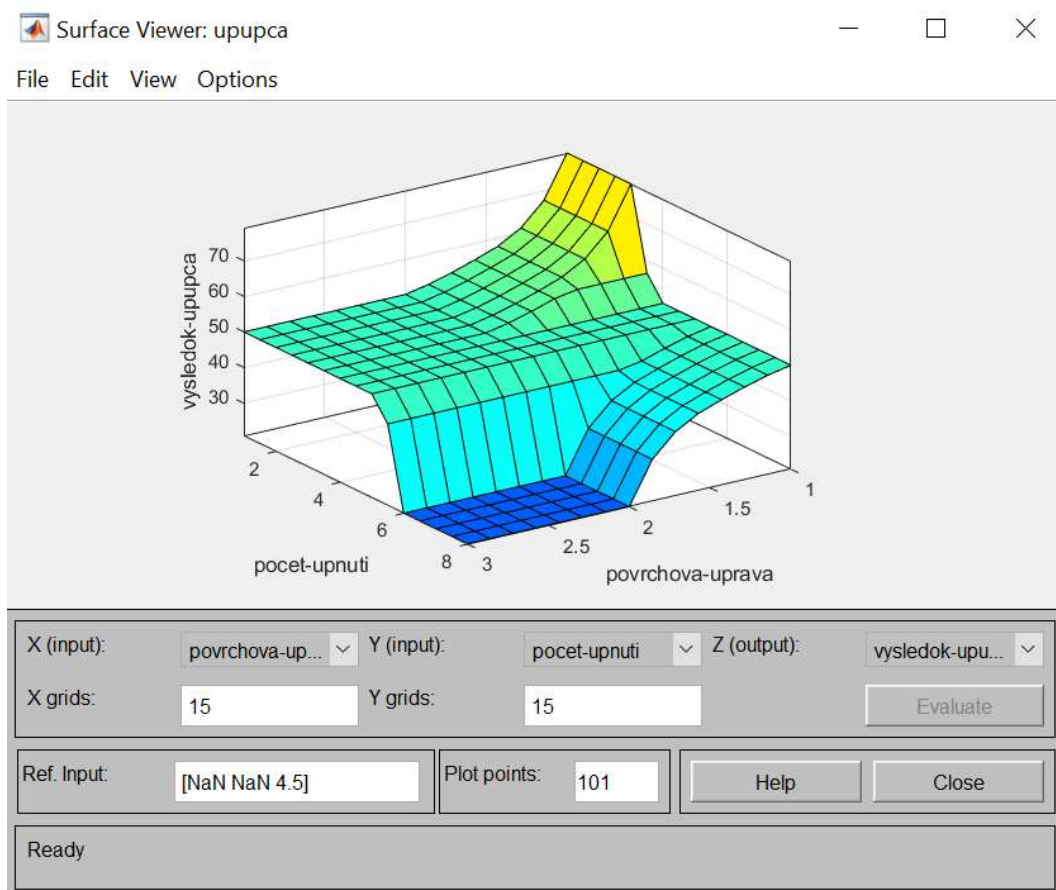


Obrázok 32: Surface Viewer odkuce.fis súboru [Zdroj: Vlastné spracovanie]

### 3.4.2 Podsystem úprava – upnutia – čas

Druhý podsystem – *upupca.fis* bol vytvorený pre kritériá povrchová úprava dielov, počet upnutí a výrobný čas jedného dielu, pričom kritérium povrchovej úpravy môže nadobúdať tri rôzne hodnoty a kritériá počet upnutí a výrobný čas jedného dielu môžu nadobúdať osem rôznych hodnôt. To znamená, že pri zostavovaní pravidiel existuje pre tento podsystem 192 rôznych kombinácií.

Podobne ako pri predchádzajúcom podsysteme boli v prvom rade upravené vstupné a výstupná premenná a následne boli pomocou pomocného excelovského súboru a Poznámkového bloku vytvorené pravidlá. Tie boli na záver skontrolované pomocou Surface Viewra:

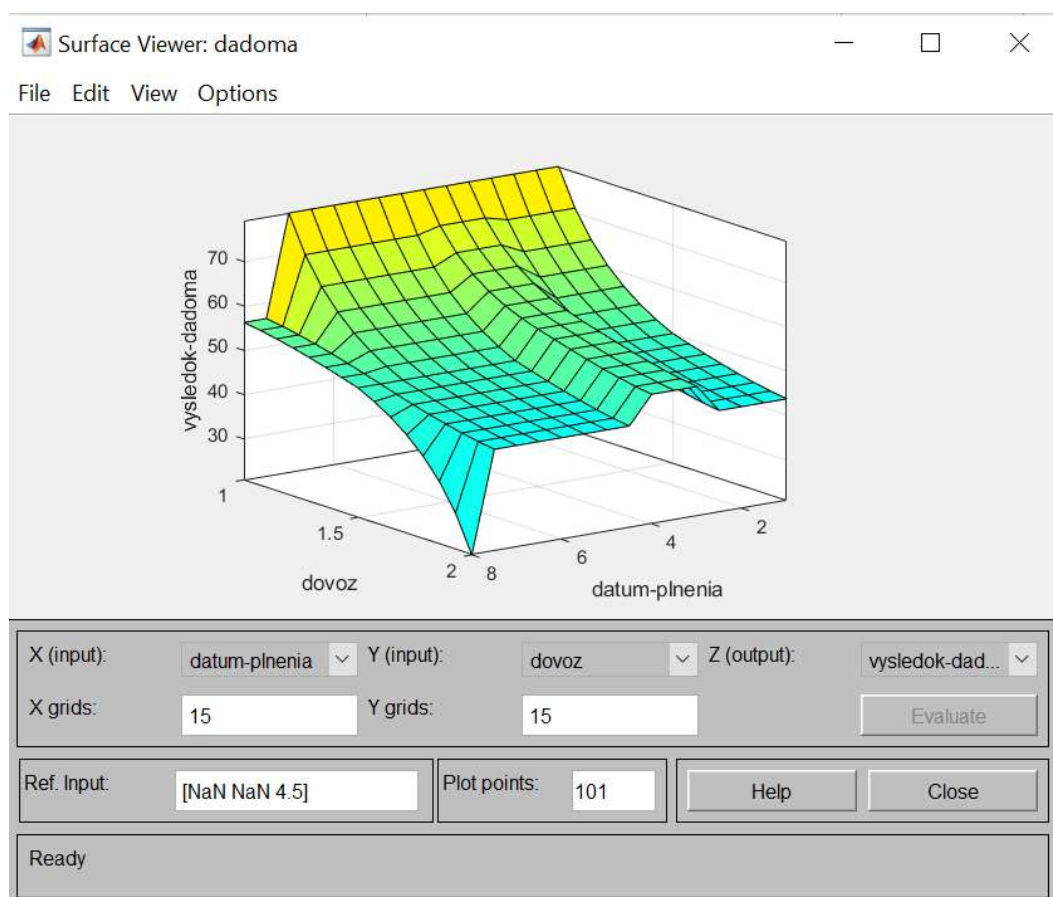


Obrázok 33: Surface Viewer upupca.fis súboru [Zdroj: Vlastné spracovanie]

### 3.4.3 Podsystem dátum – dovoz – materiál

Posledný tretí podsystem s názvom *dadoma.fis* bol vytvorený pre kritériá dovoz, dátum plnenia objednávky a materiál, pričom kritérium dovozu môže nadobúdať iba dve hodnoty a kritériá dátum plnenia a materiál môžu nadobúdať osem rôznych hodnôt. To znamená, že pri zostavovaní pravidiel existuje pre tento podsystem 128 rôznych kombinácií.

Opäť rovnako ako pri predchádzajúcich dvoch podsystemoch boli najskôr upravené vstupné a výstupná premenná a následne boli pomocou pomocného excelovského súboru a Poznámkového bloku vytvorené pravidlá. Tie boli na záver opäť skontrolované pomocou Surface Viewra, aby bola overená ich realnosť:



Obrázok 34: Surface Viewer dadoma.fis súboru [Zdroj: Vlastné spracovanie]

### 3.4.4 Vyhodnotenie objednávky pomocou M-file

Po vytvorení jednotlivých podsystémov je potrebné vytvoriť *.m* súbor, pomocou ktorého bude užívateľ zadávať parametre objednávky formou matice. Tie budú následne použité ako vstupy pre tri fuzzy modely (podsystémy) vytvorené pomocou Fuzzy Logic Toolboxu. Pre zjednodušenie ovládania a prehľadnosť zadávania údajov bolo zadávanie rozdelené zvlášť pre každé kritérium. Okrem toho bolo pomocou *while* cyklu ošetrené, aby číslo, ktoré užívateľ zadá naozaj patrilo do rozmedzia hodnôt, ktoré môžu jednotlivé kritériá nadobúdať. V prípade zadania nesprávnej hodnoty sa bude výzva na zadanie parametru opakovať. Ukážku kódu je možné vidieť na Obrázok 35 a Obrázok 36.

```

Editor - C:\Users\kbeha\Documents\MATLAB\objednavky.m
objednavky_m.m  formular.m  +
1  odkuce=readfis('odkuce.fis');
2
3  odoberatel=input('Zadajte odoberateľa objednávky a stlačte enter:\n MEOPTA = 1\n EXERION = 2\n MEOMED = 3\n ZVS IMPEX = 4\n LB TRADING = 5\n OST
4  while ((odoberatel < 1)|| (odoberatel > 6))
5      odoberatel=input('Chybná hodnota, zadajte prosím znovu:');
6  end
7  udaje_odkuce(1)=odoberatel;
8
9  pocet_kusov=input('Zadajte počet kusov objednávky a stlačte enter:\n 1-50 kusov = 1\n 51-100 kusov = 2\n 101-300 kusov = 3\n 301-500 kusov = 4\n
10 while ((pocet_kusov < 1)|| (pocet_kusov > 7))
11     pocet_kusov=input('Chybná hodnota, zadajte prosím znovu:');
12 end
13 udaje_odkuce(2)=pocet_kusov;
14
15 cena_dielec=input('Zadajte výrobnú cenu za dielec a stlačte enter:\n do 2 eur = 1\n 2,01-4 eura = 2\n 4,01-8 eur = 3\n 8,01-15 eur = 4\n 15,01-
16 while ((cena_dielec < 1)|| (cena_dielec > 8))
17     cena_dielec=input('Chybná hodnota, zadajte prosím znovu:');
18 end
19 udaje_odkuce(3)=cena_dielec;
20
21 vysledok_odkuce=evalfis(odkuce,udaje_odkuce);
22
23 upupca=readfis('upupca.fis');
24
25 povrchova_uprava=input('Zadajte povrchovú úpravu dielov a stlačte enter:\n žiadna povrchová úprava = 1\n NICKEL 5-7mic = 2\n tvrdý elox = 3\n V
26 while ((povrchova_uprava < 1)|| (povrchova_uprava > 3))
27     povrchova_uprava=input('Chybná hodnota, zadajte prosím znovu:');
28 end
29 udaje_upupca(1)=povrchova_uprava;
30
31 pocet_upnuti=input('Zadajte počet upnutí a stlačte enter:\n jedno upnutie = 1\n dve upnutia = 2\n tri upnutia = 3\n štyri upnutia = 4\n päť upn
32 while ((pocet_upnuti < 1)|| (pocet_upnuti > 8))
33     pocet_upnuti=input('Chybná hodnota, zadajte prosím znovu:');
34 end
35 udaje_upupca(2)=pocet_upnuti;
36

```

Obrázok 35: M-file objednavky\_m.m (1. časť) [Zdroj: Vlastné spracovanie]

```

Editor - C:\Users\kbeha\Documents\MATLAB\objednavky.m
objednavky_m.m  formular.m  +
37 cas_dielec=input('Zadajte výrobný čas na dielec a stlačte enter:\n do 30 minút = 1\n 31-50 minút = 2\n 51-70 minút = 3\n 71-90 minút = 4\n 91-
38 while ((cas_dielec < 1)|| (cas_dielec > 8))
39     cas_dielec=input('Chybná hodnota, zadajte prosím znovu:');
40 end
41 udaje_upupca(3)=cas_dielec;
42
43 vysledok_upupca=evalfis(upupca,udaje_upupca);
44
45 dadoma=readfis('dadoma.fis');
46
47 datum_plnenia=input('Zadajte dátum plnenia objednávky a stlačte enter:\n do 8 týždňov = 1\n do 7 týždňov = 2\n do 6 týždňov = 3\n do 5 týždňov
48 while ((datum_plnenia < 1)|| (datum_plnenia > 8))
49     datum_plnenia=input('Chybná hodnota, zadajte prosím znovu:');
50 end
51 udaje_dadoma(1)=datum_plnenia;
52
53 dovoz=input('Zadajte spôsob dovozu objednávky a stlačte enter:\n vlastný dovoz = 1\n dovoz nutný zabezpečiť = 2\n VoIba:');
54 while ((dovoz < 1)|| (dovoz > 2))
55     dovoz=input('Chybná hodnota, zadajte prosím znovu:');
56 end
57 udaje_dadoma(2)=dovoz;
58
59 material=input('Zadajte materiál a stlačte enter:\n EN AW 2017 = 1\n EN AW 5083 = 2\n EN AW 6061 = 3\n EN AW 6082 = 4\n AIMgSi1 = 5\n SAE1045 =
60 while ((material < 1)|| (material > 8))
61     material=input('Chybná hodnota, zadajte prosím znovu:');
62 end
63 udaje_dadoma(3)=material;
64
65 vysledok_dadoma=evalfis(dadoma,udaje_dadoma);
66

```

Obrázok 36: M-file objednavky\_m.m (2. časť) [Zdroj: Vlastné spracovanie]

Posledným krokom bolo spojenie výsledkov jednotlivých podsystémov za účelom dosiahnutia konečného výsledku hodnotenia objednávky zadanej užívateľom. Pri spájaní podsystémov boli prehodnocované dva možné spôsoby ich spojenia. Prvou možnosťou je spojiť tieto podsystémy cez ďalší štvrtý fuzzy model:

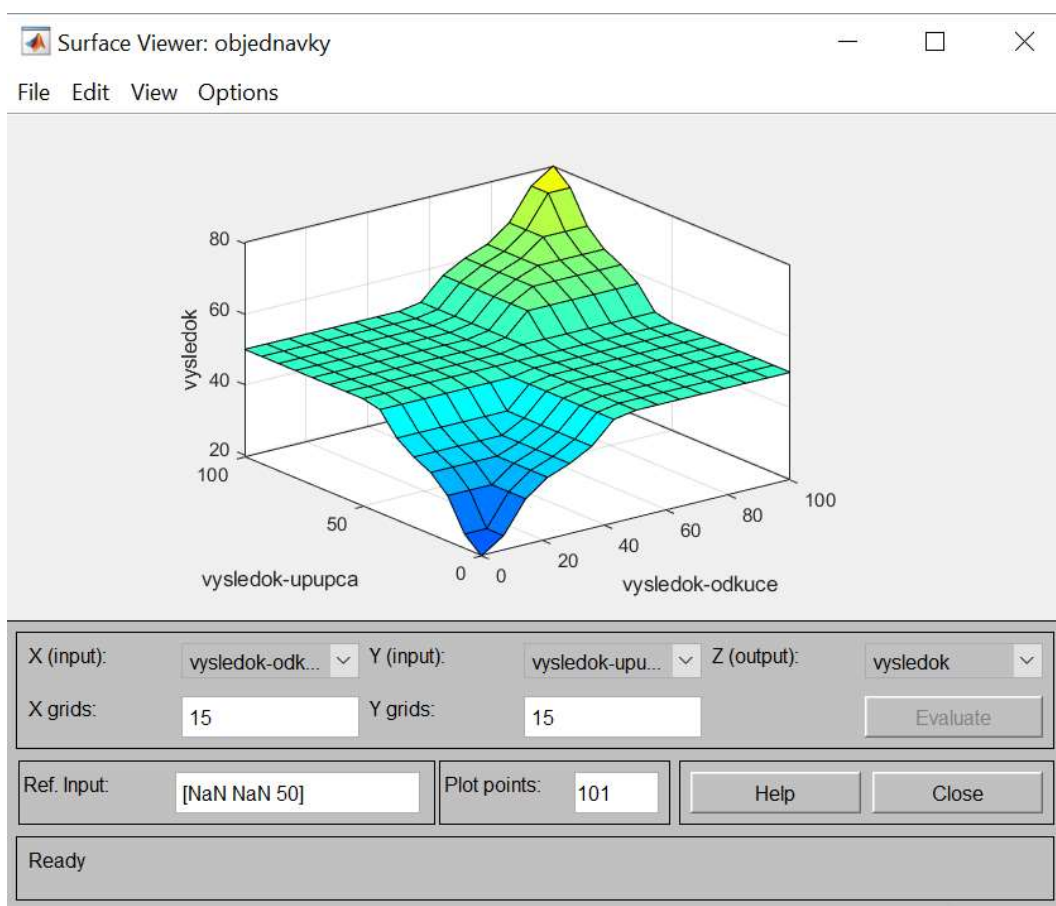
```

67 – premenna=readfis('objednavky.fis');
68 – udaje_premenna(1)=vysledok_odkuce;
69 – udaje_premenna(2)=vysledok_upupca;
70 – udaje_premenna(3)=vysledok_dadoma;
71 – vysledok=evalfis(premenna,udaje_premenna);

```

Obrázok 37: Spojenie podsystémov pomocou .fis súboru [Zdroj: Vlastné spracovanie]

Toto riešenie však nie je úplne ideálne. Vzhľadom na to, že každá vstupná premenná, ktorá vstupuje do konečného fuzzy modelu môže nadobúdať iba tri hodnoty, konečný fuzzy model je tvorený kombináciou iba 27 pravidiel vďaka čomu vznikajú dosť veľké nepresnosti a väčšina objednávok je vyhodnotená ako *objednávku prehodnotiť*.



Obrázok 38: Surface Viewer objednavky.fis súboru [Zdroj: Vlastné spracovanie]



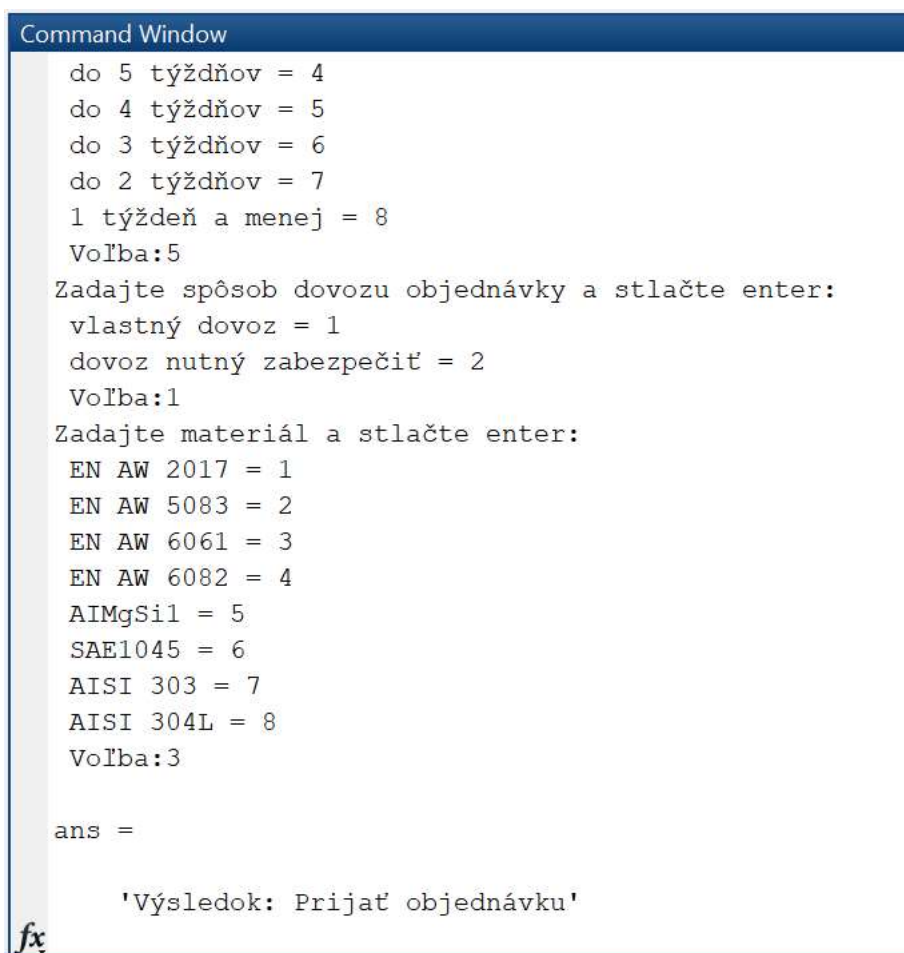
Z toho dôvodu boli nakoniec podsystémy spojené druhým spôsobom (prvý spôsob je v súbore *objednavky\_m.m* vložený formou poznámky), a to formou výpočtu, kedy sa cez ich vážený priemer dopočítavala výsledná hodnota modelu. Následne boli pomocou podmienky priradené slovné premenné k číselným rozmedziám rovnakým spôsobom, ako pri modeli spracovanom v programe MS Excel.

```

73 -   vysledok=((vysledok_odkuce+vysledok_upupca+vysledok_dadoma)/3);
74
75 -   if vysledok>=67 'Výsledok: Prijat' objednávku'
76 -   elseif vysledok>=33 'Výsledok: Prehodnotiť objednávku'
77 -   else 'Výsledok: Odmietnuť objednávku'
78 -   end

```

Obrázok 39: Spojenie podsystémov pomocou váženého priemeru [Zdroj: Vlastné spracovanie]



```

Command Window
do 5 týždňov = 4
do 4 týždňov = 5
do 3 týždňov = 6
do 2 týždňov = 7
1 týždeň a menej = 8
Voľba:5
Zadajte spôsob dovozu objednávky a stlačte enter:
vlastný dovoz = 1
dovoz nutný zabezpečiť = 2
Voľba:1
Zadajte materiál a stlačte enter:
EN AW 2017 = 1
EN AW 5083 = 2
EN AW 6061 = 3
EN AW 6082 = 4
AlMgSi1 = 5
SAE1045 = 6
AISI 303 = 7
AISI 304L = 8
Voľba:3

ans =

'Výsledok: Prijat' objednávku'
fx

```

Obrázok 40: Ukážka zadávania parametrov objednávky pomocou m-file [Zdroj: Vlastné spracovanie]

### 3.4.5 Fuzzy model v GUI (MATLAB)

Podobne ako v prípade modelu v programe MS Excel, kedy boli na vytvorenie grafického a užívateľsky prívetivejšieho prostredia použité makrá, aj model zostavený pomocou programovacieho prostredia MATLAB je možné takto upraviť a teda uľahčiť prácu s ním koncovému užívateľovi.

Okno na zostavovanie formuláru v rozhraní GUI je možné spustiť pomocou príkazu *guide* zadaného do príkazového riadku MATLABU. Následne je možné vyberať z rôznych prvkov, ktoré sa dajú použiť a rozložiť tak, aby bol model pre užívateľa čo najjednoduchší na pochopenie a ovládanie. Z prvkov, ktoré GUI ponúka boli použité:

- *static text* – použitý na nadpis alebo označenie jednotlivých vstupných parametrov,
- *pop-up menu* – rolovacie menu obsahujúce možné hodnoty pre jednotlivé kritériá,
- *push button* – tlačidlo, ktorým sa spúšťa vyhodnotenie objednávky vo formulári,
- *edit text* – použitý pre vypísanie výsledku hodnotenia vypočítaného pomocou fuzzy modelu.

| Hodnotenie objednávky firmy    |                        |                            |
|--------------------------------|------------------------|----------------------------|
| Odberateľ:<br>MEOPTA           | Počet kusov:<br>1-50   | Cena/dielec:<br>do 2 eur   |
| Povrchová úprava:<br>žiadna    | Počet upnutí:<br>jedno | Čas/dielec:<br>do 30 minút |
| Dátum plnenia:<br>do 8 týždňov | Dovoz:<br>vlastný      | Materiál:<br>EN AW 2017    |
| VYHODNOTIŤ                     |                        |                            |
| Výsledok:                      |                        |                            |

Obrázok 41: Formulár MATLAB [Zdroj: Vlastné spracovanie]

Práca s formulárom je naozaj jednoduchá, užívateľ navolí v rolovacích menu parametre konkrétnej objednávky, ktorú potrebuje vyhodnotiť a po stlačení tlačidla *vyhodnotiť* mu formulár automaticky vypíše výsledok, ktorý fuzzy model vypočítal.

Obrázok 42: Vyplnený formulár MATLAB [Zdroj: Vlastné spracovanie]

```

282
283 % --- Executes on button press in pushbutton1.
284 function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
285 % hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
286 % eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
287 % handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
288
289 % loading of .fis files
290 odkuce=readfis('odkuce.fis');
291 fis_upupca=readfis('upupca.fis');
292 fis_dadoma=readfis('dadoma.fis');
293
294 odkuce(1) = get(handles.popupmenu1, 'Value');
295 odkuce(2) = get(handles.popupmenu2, 'Value');
296 odkuce(3) = get(handles.popupmenu3, 'Value');
297 vysledok_o=evalfis(fis_odkuce,odkuce);
298

```

Obrázok 43: Ukážka kódu formuláru (1. časť) [Zdroj: Vlastné spracovanie]



```

309 -     vysledok=( (vysledok_o+vysledok_u+vysledok_d)/3);
310
311 -     if vysledok>=67
312 -         set(handles.edit1,'string','Prijať objednávku')
313 -     elseif vysledok>=33
314 -         set(handles.edit1,'string','Prehodnotiť objednávku')
315 -     else
316 -         set(handles.edit1,'string','Odmietnuť objednávku')
317 -     end

```

Obrázok 44: Ukážka kódu formuláru (2. časť) [Zdroj: Vlastné spracovanie]

V systéme na podporu rozhodovania sa zostavenom pomocou programovacieho prostredia MATLAB vystupujú výsledné hodnoty iba vo forme slovných premenných. Pokiaľ by mal užívateľ potrebu zistiť hodnotu výsledku v číselnej forme, bolo by to možné jedine pomocou vyvolania danej premennej v príkazovom riadku.

### 3.5 Porovnanie modelov MS Excel vs. MATLAB

V tejto kapitole budú porovnané oba modely zostavené na princípoch fuzzy logiky určené na podporu rozhodovania sa ohľadom práce s objednávkami vo vybranej spoločnosti. Porovnanie bude zamerané na presnosť hodnotenia jednotlivých modelov ako aj na výhody a nevýhody samotných modelov zostavených v dvoch odlišných programoch.

#### 3.5.1 Porovnanie výsledkov modelov

Pre porovnanie výsledkov daných dvoch modelov boli vybrané konkrétne objednávky, ktoré spoločnosť v minulosti prijala od odberateľov. Konečné výsledky vypočítané pomocou modelov teda budú porovnané s reálnym stavom spracovania objednávok, ktorý bol vyhodnotený zamestnancom spoločnosti pracujúcim s objednávkami. Vďaka tomu je možné overiť presnosť namodelovaných systémov, prípadne určiť veľkosť ich odchýlky od reality.

Do oboch modelov bolo zadáných nasledujúcich 5 objednávok:

- objednávka č. 1: 60 kusov, odberateľ: EXERION, materiál: hliníková zliatina EN AW 2017, výrobná cena: 39,98€/ks, počet upnutí: 3, povrchová úprava: žiadna, výrobný čas: 88 minút, dátum plnenia: do 2 týždňov, spôsob dopravy: vlastná,
- objednávka č. 2: 400 kusov, odberateľ: MEOPTA, materiál: hliníková zliatina EN AW 6082, výrobná cena: 17,95€/ks, počet upnutí: 2, povrchová úprava: tvrdý elox, výrobný čas: 90 minút, dátum plnenia: do 3 týždňov, spôsob dopravy: vlastná,
- objednávka č. 3: 80 kusov, odberateľ: MEOPTA, materiál: hliníková zliatina EN AW 6082, výrobná cena: 56,25€/ks, počet upnutí: 4, povrchová úprava: žiadna, výrobný čas: 100 minút, dátum plnenia: do 4 týždňov, spôsob dopravy: nutný zabezpečiť,
- objednávka č. 4: 45 kusov, odberateľ: OSTATNÍ, materiál: hliníková zliatina EN AW 6061, výrobná cena: 129,92€/ks, počet upnutí: 3, povrchová úprava: NICKEL 5-7mic, výrobný čas: 180 minút, dátum plnenia: do 3 týždňov, spôsob dopravy: vlastná,
- objednávka č. 5: 50 kusov, odberateľ: LB TRADING, materiál: nerezový materiál AISI 304L, výrobná cena: 22€/ks, počet upnutí: 3, povrchová úprava: žiadna, výrobný čas: 150 minút, dátum plnenia: do 2 týždňov, spôsob dopravy: nutný zabezpečiť.

V nasledujúcej tabuľke je možné pozorovať výsledky jednotlivých modelov ako aj reálne výsledky hodnotenia objednávok vykonané zamestnancom spoločnosti.

| Porovnanie výsledkov modelov s realitou |                     |                |                     |                |                        |       |
|---|---------------------|----------------|---------------------|----------------|------------------------|-------|
|   | Excel               |                | Matlab              |                | Realita                | Zhoda |
|   | Číselná hodnota (%) | Slovná hodnota | Číselná hodnota (%) | Slovná hodnota |                        |       |
| objednávka č. 1                         | 68,2                | Prijať         | 70,4                | Prijať         | Prijať                 | áno   |
| objednávka č. 2                         | 63,6                | Prehodnotiť    | 60,2                | Prehodnotiť    | Prijať                 | nie   |
| objednávka č. 3                         | 50,0                | Prehodnotiť    | 50                  | Prehodnotiť    | Prehodnotiť, prijať    | áno   |
| objednávka č. 4                         | 40,9                | Prehodnotiť    | 49,3                | Prehodnotiť    | Prehodnotiť, odmietnuť | áno   |
| objednávka č. 5                         | 31,8                | Odmietnuť      | 28,9                | Odmietnuť      | Odmietnuť              | áno   |

Tabuľka 23: Porovnanie modelov s realitou [Zdroj: Vlastné spracovanie]

Na základe Tabuľka 23 je možné zhodnotiť, že oba modely naprogramované v programoch MS Excel a MATLAB pracujú veľmi podobne. V slovných premenných

nie sú pozorované žiadne rozdiely hodnotenia objednávok, ktoré boli do systémov zadané. Čo sa týka číselných hodnôt reprezentujúcich vypočítané výsledky vytvorených fuzzy modelov na podporu rozhodovania sa, je možné pozorovať len menšiu odchýlku rádovo v jednotkách percent. Táto odchýlka by pri niektorých objednávkach mohla spôsobiť rozdiel v slovnom hodnotení, pokiaľ by sa číselné ohodnotenie danej objednávky pohybovalo na hranici percentuálnych rozmedzí charakterizujúcich jednotlivé výstupy.

S prihliadnutím na reálne vyhodnotenia objednávok vykonaných zamestnancom spoločnosti disponujúcim expertnými znalosťami je jediný rozdiel prítomný pri objednávke č. 2. Táto objednávka bola modelmi vyhodnotená ako objednávka na prehodnotenie, pričom v praxi bola daná objednávka prijatá zamestnancom okamžite bez nutnosti prehodnocovania. Daná odlišnosť mohla vzniknúť i zo subjektívneho dôvodu zamestnanca, kedy mohol mať napríklad dobré medziľudské vzťahy so zamestnancami daného odberateľa, na čo z časti pri prijímaní objednávky prihliadal. Objednávka č. 3 a objednávka č. 4 boli zamestnancom tak isto určené na prehodnotenie, čo znamenalo, že bolo potrebné dodatočne overiť momentálne dostupné časové, nákladové a ľudské zdroje spoločnosti za účelom rozhodnutia sa, či je možné tieto objednávky prijať. Na základe získaných informácií sa následne zamestnanec rozhodol, že objednávka č. 3 bude prijatá, zatiaľ čo objednávku č. 4 nebolo možné v dobe jej doručenia prijať.

### **3.5.2 Porovnanie programov**

Porovnanie samotných programov, v ktorých boli fuzzy systémy namodelované, môže byť uskutočnené z viacerých pohľadov. Programy je možné porovnávať napríklad z hľadiska ceny, náročnosti na používanie, presnosti výsledkov a možnosti implementácie.

Čo sa týka ceny a možnosti implementácie daných dvoch modelov, rozhodne lacnejšou a menej náročnou voľbou je model zostavený pomocou programu MS Excel. Vzhľadom na to, že spoločnosť už má zakúpenú licenciu na balík MS Office a programy z nej bežne využíva pri svojich firemných procesoch, je pre ňu jednoduchšie a lacnejšie

implementovať fuzzy model na podporu rozhodovania sa namodelovaný v programe MS Excel. Ďalšou výhodou je, že zamestnanci daný softvér dobre poznajú, čo znamená oveľa menšie výdaje na školenie zamerané na obsluhu modelu. Preto by bol model vytvorený v programovacom prostredí MATLAB náročnejší na používanie, keďže zamestnanci sa s týmto programom pravdepodobne nikdy nestretli a nie sú zvyknutí v ňom pracovať.

Naopak za výhodu MATLAB modelu sa dá považovať jeho presnosť, ktorá je vďaka veľkému počtu pravidiel a využívaniu členských funkcií na vyššej úrovni.

V neposlednom rade je potrebné spomenúť, že fuzzy model namodelovaný v programe MS Excel je možné jednoduchšie a hlavne rýchlejšie upravovať a prispôbovať prípadným zmenám v preferenciách spoločnosti týkajúcich sa hodnotenia objednávky. Táto vlastnosť je pre spoločnosť veľmi dôležitá, pretože v nej prebieha neustála inovácia strojov, rozšírenie ponuky materiálov, s ktorými pracuje a spektra dielov, ktoré je schopná vyrobiť. Zatiaľ čo v modeli zostavenom v programe MATLAB by bolo potrebné upravovať členské funkcie vstupných i výstupnej premennej a tak isto urobiť značný zásah do pravidiel slúžiacich na vyhodnotenie fuzzy modelu, v modeli programu MS Excel by stačilo rozšíriť alebo upraviť matice a to za pomerne krátky čas.

Na základe vyššie uvedených dôvodov je jasné, že výhodnejšou voľbou by pre vybranú spoločnosť bola implementácia a práca s fuzzy modelom na podporu rozhodovania sa namodelovanom v prostredí programu MS Excel.

### **3.6 Zhodnotenie prínosu riešenia**

Vytvorený systém na podporu rozhodovania sa ohľadom práce s objednávkami spoločnosti by ošetril problém popisovaný v kapitole 2.6 *Hodnotenie objednávky* týkajúci sa obmedzených znalostí zamestnancov spoločnosti. Vďaka tomuto systému by bolo možné vyhodnocovať prácu s objednávkami jednoduchšie, rýchlejšie a bez potreby expertných znalostí získaných dlhoročnou praxou. Používanie tohto systému by tak isto zamedzilo možným chybám v rozhodovaní spôsobených napríklad ľudským omylom alebo neúplnosťou parametrov zadanej objednávky, čo by malo v konečnom dôsledku i pozitívny dopad na finančný zisk spoločnosti.

## ZÁVER

Cieľom diplomovej práce zameranej na hodnotenie kvality zákazníka spoločnosti pomocou fuzzy logiky bolo vytvorenie systému na podporu rozhodovania sa určeného na vyhodnotenie zákazníkov prostredníctvom hodnotenia ich objednávok – objednávka od zákazníka môže byť prijatá alebo odmietnutá.

Za týmto účelom boli zostavené dva samostatné fuzzy modely na podporu rozhodovania sa, jeden v programe MS Excel a druhý v programovacom prostredí MATLAB za pomoci využitia jeho rozšírenia Fuzzy Logic Toolbox. Oba tieto systémy boli spracované na základe teoretického východiska diplomovej práce a následne boli oba zasadené do grafického, užívateľsky intuitívneho prostredia.

Samotné hodnotenie objednávok bolo vykonávané na základe deviatich kritérií, ktoré predstavovali parametre definujúce objednávky od odberateľov spoločnosti. Medzi tieto kritériá patrilo druh samotného odberateľa, dátum plnenia objednávky, počet kusov, materiál, možnosť povrchovej úpravy, počet upnutí pri výrobe dielu, výrobný čas a cena jedného dielu a spôsob dopravy hotovej objednávky. Výstupom fuzzy modelov bol výsledok vyjadrený v percentách, ktorý predstavoval zhodu parametrov zadanej objednávky s preferenciami spoločnosti. Tento výsledok bolo možné v slovných premenných interpretovať ako vyhodnotenie, či má spoločnosť objednávku prijať, prehodnotiť alebo odmietnuť.

Na záver boli hotové modely porovnané a to z hľadiska presnosti ich výpočtov ako aj z hľadiska výhodnosti v prípade novej budúcej implementácie do firemného procesu vybranej spoločnosti. Výsledkom porovnania bolo, že oba modely sú namodelované správne a pracujú pomerne presne v porovnaní s reálnym vyhodnocovaním objednávok vykonávaným zamestnancom s expertným znalosťami v tejto oblasti. Čo sa týka novej budúcej implementácie týchto modelov, z komplexného porovnania modelov a programov, v ktorých sú namodelované vyplýva, že by bola pre spoločnosť výhodnejšia implementácia fuzzy modelu na podporu rozhodovania sa zostaveného v programe MS Excel, s ktorým už v súčasnosti spoločnosť pracuje.

## ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] DOSTÁL, P., K. RAIS a Z. SOJKA. Pokročilé metody manažerského rozhodování. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-1338-1.
- [2] JURA, P. Základy fuzzy logiky pro řízení a modelování. Brno: VUTUM, 2003. ISBN 80-214-2261-0.
- [3] DOSTÁL, P. Pokročilé metody rozhodování v podnikatelství a veřejné správě. Brno: CERM, 2012. ISBN 978-80-7204-798-7.
- [4] DOSTÁL, Petr a Karel RAIS. Operační a systémová analýza II. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-2803-1.
- [5] DOSTÁL, Petr. Soft computing v podnikatelství a veřejné správě. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2015. ISBN 978-80-7204-896-0.
- [6] Fuzzy logika [online]. [cit. 2021-01-15]. Dostupné z: [https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?cast=21852](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=21852). Mendelova univerzita v Brně.
- [7] Getting started with VBA in Office [online]. [cit. 2021-01-16]. Dostupné z: <https://docs.microsoft.com/en-us/office/vba/library-reference/concepts/getting-started-with-vba-in-office>
- [8] THE MATHWORKS. MATLAB – Fuzzy Logic Toolbox - User's Guide. The MathWorks, Inc. (c)1995-2020.
- [9] MATLAB GUI [online]. [cit. 2021-01-16]. Dostupné z: [https://www.mathworks.com/discovery/matlab-gui.html?s\\_tid=srchtitle](https://www.mathworks.com/discovery/matlab-gui.html?s_tid=srchtitle)
- [10] ZKN METAL s.r.o. [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <http://www.zknmetal.sk/>
- [11] Hladká, K. (2021) Asistentka manažera spoločnosti ZKN METAL s.r.o. Ústna komunikácia.

## ZOZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKOV

|   |    |
|---|----|
| Obrázok 1: Funkcia $\Gamma$ .....                     | 14 |
| Obrázok 2: Funkcia $L$ .....                          | 14 |
| Obrázok 3: Funkcia $\Lambda$ .....                    | 14 |
| Obrázok 4: Funkcia $\Pi$ .....                        | 15 |
| Obrázok 5: Vlastnosti fuzzy množiny .....             | 15 |
| Obrázok 6: Sčítanie a odčítanie fuzzy množín .....    | 17 |
| Obrázok 7: Fuzzy množiny $\mu_x$ a $\mu_y$ .....      | 17 |
| Obrázok 8: Prienik fuzzy množín .....                 | 18 |
| Obrázok 9: Zjednotenie fuzzy množín .....             | 18 |
| Obrázok 10: Doplnok fuzzy množín .....                | 19 |
| Obrázok 11: Fázy fuzzy procesu .....                  | 19 |
| Obrázok 12: Programovacie prostredie VBA .....        | 25 |
| Obrázok 13: Fuzzy Inference System .....              | 26 |
| Obrázok 14: Fuzzy Logic Designer .....                | 27 |
| Obrázok 15: Membership Function Editor .....          | 28 |
| Obrázok 16: Rule Editor .....                         | 29 |
| Obrázok 17: Rule Viewer .....                         | 30 |
| Obrázok 18: Surface Viewer .....                      | 31 |
| Obrázok 19: Ukážka kódu v M-file .....                | 32 |
| Obrázok 20: Sídlo spoločnosti ZKN METAL s.r.o. ....   | 33 |
| Obrázok 21: Fuzzy model v GUI .....                   | 54 |
| Obrázok 22: Vyplnený fuzzy model v GUI .....          | 55 |
| Obrázok 23: Podsystem odberateľ - kusy - cena .....   | 57 |
| Obrázok 24: Premenná odberateľ .....                  | 58 |
| Obrázok 25: Premenná počet kusov .....                | 59 |
| Obrázok 26: Premenná výrobná cena/dielec .....        | 60 |
| Obrázok 27: Premenná výsledok odkuce.fis súboru ..... | 61 |
| Obrázok 28: Pomocný excel odkuce.fis súboru .....     | 62 |
| Obrázok 29: Poznámkový blok odkuce.fis súboru .....   | 62 |
| Obrázok 30: Rule Editor odkuce.fis súboru .....       | 63 |

|  |    |
|--|----|
| Obrázok 31: Rule Viewer odkuce.fis súboru.....                         | 64 |
| Obrázok 32: Surface Viewer odkuce.fis súboru .....                     | 65 |
| Obrázok 33: Surface Viewer upupca.fis súboru .....                     | 66 |
| Obrázok 34: Surface Viewer dadoma.fis súboru .....                     | 67 |
| Obrázok 35: M-file objednávky_m.m (1. časť) .....                      | 68 |
| Obrázok 36: M-file objednávky_m.m (2. časť) .....                      | 68 |
| Obrázok 37: Spojenie podsystémov pomocou .fis súboru.....              | 69 |
| Obrázok 38: Surface Viewer objednávky.fis súboru .....                 | 69 |
| Obrázok 39: Spojenie podsystémov pomocou váženého priemeru .....       | 70 |
| Obrázok 40: Ukážka zadávania parametrov objednávky pomocou m-file..... | 70 |
| Obrázok 41: Formulár MATLAB.....                                       | 71 |
| Obrázok 42: Vyplnený formulár MATLAB .....                             | 72 |
| Obrázok 43: Ukážka kódu formuláru (1. časť).....                       | 72 |
| Obrázok 44: Ukážka kódu formuláru (2. časť).....                       | 73 |



## ZOZNAM POUŽITÝCH TABULIEK

|   |    |
|---|----|
| Tabuľka 1: Transformačná matica – slovný popis.....                           | 22 |
| Tabuľka 2: Transformačná matica – číselne ohodnotená .....                    | 23 |
| Tabuľka 3: Stavová matica .....   | 23 |
| Tabuľka 4: Výsledok skalárneho súčinu.....                                    | 24 |
| Tabuľka 5: Retransformačná matica.....  | 24 |
| Tabuľka 6: Výsledná tabuľka .....   | 24 |
| Tabuľka 7: Odberateľ .....  | 45 |
| Tabuľka 8: Dátum plnenia objednávky .....                                     | 46 |
| Tabuľka 9: Počet kusov objednávky.....  | 46 |
| Tabuľka 10: Dovozy objednávky .....   | 47 |
| Tabuľka 11: Výrobná cena/dielec.....  | 47 |
| Tabuľka 12: Materiál .....  | 48 |
| Tabuľka 13: Povrchová úprava dielov.....                                      | 48 |
| Tabuľka 14: Počet upnutí dielu .....  | 49 |
| Tabuľka 15: Výrobný čas/dielec.....   | 49 |
| Tabuľka 16: Transformačná matica - slovne ohodnotená .....                    | 51 |
| Tabuľka 17: Transformačná matica - číselne ohodnotená.....                    | 52 |
| Tabuľka 18: Stavová matica .....  | 52 |
| Tabuľka 19: Retransformačná matica.....                                       | 53 |
| Tabuľka 20: Výstupná matica.....  | 53 |
| Tabuľka 21: Maximum a minimum číselne ohodnotenej transformačnej matice ..... | 54 |
| Tabuľka 22: Suma minima a maxima.....   | 54 |
| Tabuľka 23: Porovnanie modelov s realitou.....                                | 74 |

## **ZOZNAM PRÍLOH**

Príloha 1: Hodnotenie objednávok – MS Excel

Príloha 2: Hodnotenie objednávok – MATLAB